

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE

Valorisation des sous-produits agro-industriels dans l'alimentation du poisson-chat africain, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), au Rwanda

Richir, Jonathan

Award date:
2004

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



**FACULTES UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX
NAMUR**

Faculté des Sciences

**VALORISATION DES SOUS-PRODUITS AGRO-INDUSTRIELS DANS L'ALIMENTATION
DU POISSON-CHAT AFRICAIN, *CLARIAS GARIEPINUS* (BURCHELL 1822),
AU RWANDA**

**Mémoire présenté pour l'obtention du grade de
licencié en Sciences biologiques**

Jonathan RICHIR
Août 2004

Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix
FACULTE DES SCIENCES
Secrétariat du Département de Biologie
Rue de Bruxelles 61 - 5000 NAMUR
Téléphone: + 32(0)81.72.44.18 - Téléfax: + 32(0)81.72.44.20
E-mail: joelle.jonet@fundp.ac.be - <http://www.fundp.ac.be/fundp.html>

**La valorisation des sous-produits agro-industriels dans l'alimentation du poisson-chat africain,
Clarias gariepinus, au Rwanda**

RICHIR Jonathan

Résumé

L'objectif de cette étude était de déterminer dans quelle mesure les farines de poissons pouvaient être remplacées par des sous-produits agro-industriels dans la formulation d'aliments destinés aux juvéniles de *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) élevés au Rwanda. Trois sous-produits végétaux, les tourteaux d'arachide (TA) et de tournesol (TT), et la farine de haricot (FH), ont été inclus dans 6 régimes expérimentaux isoprotéiques et isoénergétiques (38 % de protéines brutes et 19-21 kJ d'énergie brute par kg d'aliment) de manière à remplacer partiellement, voire totalement, la farine de poissons. Le tourteau de tournesol (TT) fut également trempé (TTT) ou décortiqué (TTD) afin d'étudier les effets de ces deux prétraitements sur leur utilisation biologique. Les résultats des analyses zootechniques et biochimiques (taux de croissance spécifique, SGR, efficacité de conversion alimentaire, ECA, coefficient d'efficacité protéique, PER et rétention énergétique apparente, REA) furent analysés et comparés : les meilleurs résultats ont été obtenus avec le régime expérimental R3 contenant 25 % de FP, 25 % de TT et 20 % de FH, et les résultats les plus médiocres ont été obtenus avec le régime expérimental R5, dépourvu de FP, et contenant 22 % de TTT, 40 % de TA et 10 % de FH. Les SGR calculés pour les régimes R3 et R5 étaient de 3,17 et de 2,04 $\% \cdot j^{-1}$, les ECA de 1,16 et de 0,74, les PER de 3,23 et de 2,21 et les REA de 33,7 et de 23,1 %, respectivement. Des résultats intéressants furent également obtenus avec le régime R6 dans lequel la farine de poissons était totalement remplacée par du TTD (30 %), du TA (32 %) et de la FH (10 %). Nous avons également analysé les teneurs en tannins, en acides phytiques et en facteur antitrypsiques des différents ingrédients. Nous n'observons pas de différence significative entre les ingrédients, contrairement aux aliments pour lesquels les teneurs en facteurs antinutritionnels augmentent significativement lorsque le pourcentage en farine de poissons diminue. La farine de poissons peut donc être partiellement, voire totalement, remplacée par des sous-produits végétaux sans effets significatifs sur la croissance et l'efficacité alimentaire. Les graines de tournesol devraient préférentiellement être décortiquées, bien que les teneurs en facteurs antinutritionnels des aliments ne semblent pas influencer significativement les résultats obtenus.

Mémoire de licence en Sciences Biologiques

Août 2004

Promoteur : P. Kestemont

C'est déjà la fin de l'aventure, et avant le « The End » de cette histoire, il me reste à remercier ceux qui ont participé à son heureux dénouement ...

S'il me fallait remercier tous ceux qui m'ont permis d'en arriver là aujourd'hui, je me verrais obliger d'écrire un mémoire de gratitude. Il va me falloir être **succinct** et en venir à l'essentiel, et ceux qui me connaissent savent les difficultés que cela représente pour moi.

Avant tout, je tiens à remercier mon promoteur, M. Patrick Kestemont, pour m'avoir offert l'opportunité de travailler sur ce sujet de recherche et pour m'avoir permis de me rendre pour un cours séjour en Afrique. Ce fut une expérience très constructive qui je le sais m'apportera beaucoup dans la vie.

Je tiens aussi à remercier de tout mon cœur ma tutrice de mémoire, Letty, pour m'avoir non seulement suivi et aidé dans mon travail, mais aussi et surtout pour s'être tant préoccuper de mon sort lorsque je me suis retrouver, seul petit étudiant belge, au milieu d'un pays inconnu sans repère pour m'y retrouver. Tu m'as beaucoup aidé à m'intégrer à Butare, et je t'en remercie infiniment.

Et puisque nous voici en Afrique, j'en profite pour remercier avant tout Evelyne qui n'hésita pas à me rendre visite et à me tirer dehors pour me faire découvrir Butare. Je n'imagine pas comment aurait pu être mon séjour là-bas si ne t'avais connu. Il en va de même en ce qui vous concerne, Système, Murenzi, Aimé, Bona et tous les autres. Les soirées passées au clavier, au Saona, à la piscine, les matchs de basket, et les 100 coups que l'on a pu faire ensemble me feront toujours garder un bon souvenir du Rwanda.

Le voyage réalisé dans le cadre du présent mémoire a été rendu possible grâce à l'intervention financière du Conseil Interuniversitaire de la Communauté française de Belgique - Commission Universitaire pour le Développement - que je tiens à remercier grandement.

Je tiens à adresser ma reconnaissance à tous les membres actifs de L'URBO qui d'une manière ou d'une autre m'ont permis d'avancer dans mon travail. Je pense en particulier à vous, Mr Trausch, pour m'avoir aider dans mes analyses, ainsi qu'à Marie-Claire, Neila, Gersande, Yves, et tout les autres qui m'ont glissé à l'oreille un petit conseil pour aller de l'avant dans mes manipes.

Je n'oublie pas les malheureux étudiants urboïstes qui ont eu à supporter mes sauts d'humeur pendant ces deux années, et mon humeur parfois maussade durant les sessions d'examens et ce mémoire. Et puis reconnaissons le, nous formions une bonne bande tous ensemble, et cela nous a permis de couler des jours heureux dans notre belle faculté... .

Je n'ai plus la place pour dire grand chose, et j'aurais peur de m'éterniser. Laisser moi juste encore remercier tous ceux et celles qui, de près ou de loin, ont appris à me connaître et qui passèrent quelques bons moments avec moi, que ce soit dans les études, dans les guindailles ou hors de la vie d'étudiant, et je pense en cela à mon unité scout, à mes anciens camarades de rénovés et de primaires, mais aussi et surtout à ma famille, mes parents et frères, mes grands-mères et surtout ma filleule adorée. Merci d'avoir été là.

Merci à tous.

John.

Introduction générale.....	1
Première partie : synthèse bibliographique.....	2
1. Présentation de l'espèce	2
2. Biologie de <i>Clarias gariepinus</i>	2
2.1. Maturité sexuelle, ponte et reproduction en milieu naturel	2
2.2. Le cannibalisme	3
2.3. Croissance et régime alimentaire de <i>Clarias gariepinus</i> en milieu naturel	4
2.4. Exigences écologiques	5
3. Aspects généraux de l'aquaculture de <i>Clarias gariepinus</i>	6
3.1. Frai et production de juvéniles en conditions d'élevage	6
3.1.1. Reproduction naturelle ou induite par traitement hormonal	6
3.1.2. Influence de la température dans la morphogenèse des embryons de <i>Clarias gariepinus</i>	7
3.1.3. L'élevage des larves de <i>C. gariepinus</i> : alimentation et performances zootechniques.....	8
3.2. Elevage, alimentation et croissance des juvéniles de <i>Clarias gariepinus</i>	9
3.2.1. La polyculture de <i>Clarias gariepinus</i> et sa culture intégrée en milieu rural....	9
3.2.2. Facteurs influençant les performances zootechniques et le comportement de <i>C. gariepinus</i>	10
3.2.3. Performances zootechniques des juvéniles de <i>Clarias gariepinus</i>	12
4. Besoins nutritionnels des <i>Siluridae</i>	14
5. Substitution de la farine de poissons par des sous-produits agro-alimentaires dans la formulation d'un aliment destiné à <i>Clarias gariepinus</i>	16
5.1. Les sous-produits agro-industriels utilisés en aquaculture et plus particulièrement dans le cadre de cette expérience.....	16
5.1.1. Le tourteau d'arachide.....	17
5.1.2. Les tourteaux et l'huile de tournesol.....	18
5.1.3. La farine d'haricot.....	18
5.2. Les facteurs antinutritionnels.....	19
6. Conclusion.....	20

Deuxième partie : matériel et méthodes	22
1. Rappel des objectifs de l'étude.....	22
2. Matériel et méthodes.....	23
2.1. Infrastructures expérimentales.....	23
2.2. Les poissons.....	23
2.3. Conditions expérimentales.....	23
2.4. Régimes expérimentaux et mode d'alimentation.....	24
2.4.1. Ingrédients expérimentaux.....	24
2.4.2. Formulation des régimes expérimentaux.....	25
2.4.3. Mode d'alimentation.....	26
2.5. Contrôle des paramètres zootechniques.....	27
2.6. Analyses biochimiques des aliments et des poissons.....	28
2.6.1. Extraction et détermination de la teneur en lipides totaux.....	28
2.6.2. Dosage des protéines.....	28
2.6.3. Dosage de la matière sèche et du taux d'humidité brute.....	28
2.6.4. Détermination du taux de cendres.....	28
2.6.5. Calcul de la teneur en glucides.....	28
2.6.6. Formules utilisées pour évaluer l'efficacité des aliments.....	29
2.7. Dosages des facteurs anti-nutritionnels.....	29
2.7.1. Dosage des acides phytiques.....	29
2.7.2. Dosage des facteurs antitrypsiques.....	30
2.7.3. Dosage des tannins.....	30
2.8. Traitements statistiques des données.....	30
Troisième partie : résultats	31
1. Résultats.....	31
1.1. Données zootechniques.....	31
1.1.1. Survie et état général des poissons.....	31
1.1.2. Prise alimentaire.....	32
1.1.3. Poids final, gain de poids et taux spécifique de croissance (SGR).....	34
1.1.4. Efficacité de conversion alimentaire (ECA).....	35
1.1.5. Facteur de condition (K).....	36
1.2. Données biochimiques.....	36
1.2.1. Données biochimiques des régimes expérimentaux.....	36
1.2.2. Données biochimiques des poissons.....	36
1.2.3. Critères biochimiques d'utilisation des aliments.....	37
1.3. Dosages des facteurs antinutritionnels.....	38
1.3.1. Les tannins.....	38
1.3.2. Les phytates.....	38
1.3.3. Les facteurs antitrypsiques.....	40

Quatrième partie : discussion	42
1. Les paramètres zootechniques.....	42
1.1. Ingéré et efficacité de l'aliment.....	42
1.2. Gain de poids et taux de croissance spécifique.....	43
1.3. Taux de conversion alimentaire.....	45
2. Les résultats des analyses biochimiques effectuées sur les tourteaux de tournesol et sur les poissons.....	45
2.1. Teneurs en protéines des tourteaux de tournesol et des carcasses de poissons.....	45
2.2. Les lipides.....	47
3. Les critères d'utilisation des nutriments.....	47
4. Formulations expérimentales, résultats zootechniques et biochimiques et efficacités des aliments.....	48
5. Les teneurs en facteurs antinutritionnels des ingrédients et des aliments.....	49
5.1. Les teneurs en tannins.....	49
5.2. Les teneurs en acides phytiques.....	50
5.3. Les facteurs antitrypsiques.....	51
5.4. Croissances et facteurs antinutritionnels.....	52
Cinquième partie : conclusions et perspectives	53
Références bibliographiques	55

Liste des espèces citées

Anguille européenne *Anguilla anguilla* Schrank, 1798
African arowana *Heterotis niloticus* Cuvier, 1829
African Giant Catfish *Heterobranchus bidorsalis* Saint-Hilaire, 1809
Atipa *Hoplosternum littorale* Hancock, 1828
Banded jewelfish ou **Hemichromis** *Hemichromis fasciatus* Peters, 1858
Carpe commune *Cyprinus carpio* Linné, 1758
Carpe herbivore *Ctenopharyngodon idella* Valenciennes 1844
Carpe indienne *Catla catla* Hamilton, 1822
Dark African *Parachanna obscura* Günther, 1861
Dwarf (African) catfish *Clarias isheriensis* Sydenham, 1980
Giant Bumblebee Catfish *Pseudoplatystoma coruscans* Spix et Agassiz, 1829
Mudfish *Clarias anguillaris* Linnaeus, 1758
Perche commune *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758
Poisson-chat à grosse tête *Clarias macrocephalus* Guenther, 1864
Poisson-chat africain *Clarias gariepinus* Burchell, 1822
Poisson-chat américain *Ictalurus punctatus* Rafinesque, 1818
Poisson-chat *Chrysichthys nigrodigitatus* Lacepede, 1803
Poisson-chat marcheur *Clarias batrachus* Linnaeus, 1758
Silure africain *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840
Silure glane *Silurus glanis* Linnaeus, 1758
Tilapia coloré *Tilapia discolor* Günther, 1903
Tilapia du Nile *Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758
Truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792
Whitespotted clarias *Clarias fuscus* Lacepède, 1803

Liste des abréviations

°C : degré centigrade
17 α -HP : 17 α -hydroxyprogestérone
AA : acide aminé
AAI : acide aminé indispensable
ac. : acide
AG : acides gras
B : Biomasse
Bf : Biomasse finale des poissons
Bi : Biomasse initiale
Bm : Biomasse des morts
CEP : Coefficient d'Efficacité Protéique
CO₂SM : Consommation en oxygène spécifique à la masse, prise alimentaire
DOCA : 11-deoxycorticostérone acétate
E.B. : Energie Brute
EB : énergie brute
ECA : Efficacité de Conversion Alimentaire
ED : énergie digestible
EM : énergie métabolisable
Emc : métabolisable de croissance
Emm : énergie métabolisable de maintenance
Enf : contenu énergétique dans la carcasse en fin d'expérience
Ena : Extractif non azoté
Eni : contenu énergétique dans la carcasse en début d'expérience
EUA : Efficacité d'Utilisation Alimentaire
FAO :
FH : Farine de Haricot
FL : taux d'alimentation
HC : hypophyse de carpe
hCH : human Chorionic Gonadotropin
hpf : heure post-fertilisation
I : quantité d'aliments Ingérée
IGS : indice gonadosomatique
jae : nombres de jours d'alimentation exogène
K₁ : efficacité de conversion
L : longueur totale du poisson
LC₅₀ : dose létale pour laquelle 50 % des individus meurent
LHRH : Leutinizing Hormone Releasing Hormone
M.G. : Matières Grasses
M.S. : Matière Sèche
NPf : nombre de poissons à la fin de l'expérience
NPi : nombre de poissons au début de l'expérience
P : poids du poisson
P. : Protéines
P/E : rapport protéine-énergie
PB : protéine brute
PCS : poid corporel sec
Pfi : poids final des poissons
Pi : poids initial des poissons

PIM : pimozone ; 17α -HP
Pim : poids initial moyen
PM : Poids moyen
ppm : partie par mille
Prf : contenu en protéines dans la carcasse en fin d'expérience
Pri : contenu en protéines dans la carcasse en début d'expérience
PS : poids sec
RdEc : ration énergétique consommée durant l'expérience
RdPc : Ration protéique consommée
REA : Rétention Énergétique Apparente
RPA : Rétention Protéique Apparente
spz. : spermatozoïde
t : durée de l'expérience
TA : Tourteau d'Arachide
TC : taux de croissance
TCA : Taux de Conversion Alimentaire (feed conversion, FC)
TCR : taux de croissance relatif
TCR : taux de croissance relatif
 t_0 : température seuil
TS : taux de survie
TTD : Tourteau de Tournesol Décortiqué
TTNDNT : Tourteau de Tournesol Non Décortiqué Non Trempé
TTNDT : Tourteau de Tournesol Non Décortiqué Trempé
UI : Unité Internationale

Introduction générale

De très nombreux pays africains sont victimes d'un manque de nourriture tant du point de vue qualitatif que quantitatif, et ce principalement en ce qui concerne les populations rurales. Le Rwanda, avec ses 8 millions d'habitants pour une superficie de 26.388 km², n'y fait pas exception. La majorité de la population y vit d'une agriculture de subsistance incertaine en cultivant une terre peu fertile. Elle est donc perpétuellement menacée par la famine. L'élevage est également limité par le bas niveau de fertilité des terres cultivables. Une allocation efficace des ressources et une révolution agricole qui retournerait cette tendance aversive sont dès lors des conditions nécessaires pour assurer une stabilité nationale (Hishamunda et Curtis, 1998). Afin de lutter contre ces problèmes de malnutrition, voire de sous-nutrition, une politique à l'échelle nationale d'intensification, mais surtout de diversification des productions d'élevage doit être mise en œuvre. De nombreuses technologies telles que les fermes aquacoles, qui produisent des protéines de haute qualité, sont susceptibles d'améliorer les conditions alimentaires du Rwanda. Le meilleur moyen d'y contrecarrer le problème de la malnutrition et des faibles revenus des familles rurales serait d'encourager les associations de cultures de végétaux riches en protéines avec la production aquacole (Molnar *et al.*, 1991).

Les poissons requièrent pour leur croissance un apport élevé en protéines. Les aliments représentant le coût principal de l'élevage aquacole, l'intérêt d'une aquaculture intensive est étroitement lié à la disponibilité en protéines et à leur coût (Hoffman *et al.*, 1997 ; Tacon, 1996). La farine de poissons est en générale la composante majeure des aliments en aquaculture. Cette source conventionnelle de protéines représente 40 à 60 % des protéines totales dans les aliments traditionnels pour Siluridés (Van Weerd, 1995). Son prix d'achat élevé a orienté la recherche vers des sources alternatives de protéines, en particulier vers celles qui ne sont pas directement utilisables pour la consommation humaine (Hoffman *et al.*, 1997 ; Tacon, 1996). La perduration de l'industrie grandissante de l'aquaculture dépend de la réduction de l'utilisation de poissons dans la fabrication d'aliments pour poissons (Francis *et al.*, 2001). C'est dans cette optique que 6 régimes expérimentaux destinés à *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) furent testés, la farine de poisson y étant remplacée partiellement ou totalement par des sources alternatives de protéines. Les performances zootechniques et nutritionnelles de ces régimes furent ensuite analysées et comparées et certains des facteurs antinutritionnels présents dans ces régimes (tannins, acides phytiques et facteurs anti-trypsiques) et susceptibles d'en diminuer l'efficacité alimentaire furent dosés.

Première partie: synthèse bibliographique

1. Présentation de l'espèce

Une révision de la systématique du genre *Clarias* a été réalisée par Teugels (Teugels, 1996). Le genre *Clarias* appartient à la famille des *Clariidae*, ordre des Siluriformes, sous-ordre des *Siluroidei* (Fink et Fink, 1981). Cette famille de poissons d'eau douce est présente en Afrique et s'étend vers la Syrie, le sud de la Turquie et le sud-est de l'Asie. Dans le nord et le centre de l'Afrique, il a été décrit sous le nom de *C. lazera*, dans la région orientale sous celui de *C. senegalensis*, dans la partie occidentale sous celui de *C. mossambicus* et dans la partie méridionale comme *C. gariepinus*. Il s'agit cependant, dans toutes ces régions, d'une seule espèce, *C. gariepinus* (Viveen *et al.*, 1985). La répartition géographique latitudinale de cette espèce est de 70° de latitude. Il a largement été introduit en Europe et dans le reste de l'Asie pour son aquaculture (Van Weerd, 1995). Le genre *Clarias*, un des douze genres de *Clariidae* présents en Afrique, est subdivisé en six sous-genres dont *Clarias* Gronovius 1781 (Teugels, 1996). C'est à ce dernier qu'appartient le poisson-chat africain *C. gariepinus* (Burchell 1822).

La morphologie externe de *C. gariepinus* se caractérise par un corps allongé avec de longues nageoires dorsales (toujours sans épine) et anale. La nageoire pectorale possède une forte épine. Il a 4 paires de barbillons péri-buccaux. Il possède un appareil suprabranchial formé par des structures arborescentes, aux parois fortement vascularisées, originaires de la deuxième et de la quatrième épibranchies, qui lui permet de respirer l'air atmosphérique (Das et Ratha, 1996). Cette adaptation physiologique à vivre dans des milieux limités en eau se traduit également par son aptitude à excréter une plus grande quantité d'azote sous forme d'urée plutôt que d'ammoniaque (Clay, 1981). Il est par ailleurs capable de se déplacer d'un point d'eau à l'autre en utilisant ses épines pectorales et en effectuant des mouvements sinueux avec son corps (Teugels, 1996).

2. Biologie de *Clarias gariepinus*

2.1. Maturité sexuelle, ponte et reproduction en milieu naturel

Clarias gariepinus atteint sa maturité sexuelle à l'âge de 2 ou 3 ans pour une taille qui varie fortement en fonction des conditions environnementales (température, régime alimentaire, etc.) de son milieu de vie, celle-ci pouvant aller de 15 à 75 cm selon les auteurs (Clay, 1979 ; Hecht, 1996 ; Pillay, 1990). Les *Clariidae* sont dioèces et présentent un dimorphisme sexuel au niveau des organes génitaux externes (Legendre *et al.*, 1996). La période de frai de *C. gariepinus* commence avec la saison des pluies estivales et s'accomplit dans des zones inondées en bordure de lacs ou d'eaux calmes (Goos et Richter, 1996). La maturation des gonades est associée à la montée des eaux et à l'augmentation de la température et de la photopériode (Clay, 1979). Les adultes ne restent sexuellement mûrs que durant une courte période. Chez les *Clariidae*, la ponte nécessite des eaux aux températures suffisamment élevées, le dernier stimulus de la ponte étant associé à la montée des eaux et l'inondation des zones marginales (Viveen *et al.*, 1985 ; Clay, 1979). Plusieurs fraix peuvent se produire la même année à quelques semaines d'intervalle, bien que certains démentent cette affirmation (Pillay, 1990). Les cas de ponte unique sont probablement dus à des conditions environnementales qui restreignent la reproduction à une seule ponte (Clay, 1979). Une fois fécondés, les œufs sont éparpillés et adhèrent à la végétation grâce à leur disque

d'attachement (Riehl et Appelbaum, 1991). Il n'y a pas de garde parentale des oeufs qui éclosent après 24 à 36 heures suivant la température de l'eau (Viveen *et al.*, 1985).

L'indice gonadosomatique (IGS) des poissons-chats africains mâles n'excède pas 1 %, et la concentration en spermatozoïdes de leur semence est de 10^9 spz .ml⁻¹ (Legendre *et al.*, 1996). Les ovaires des femelles contiennent avant le frai des ovogonies et des ovocytes à différents stades de développement (Legendre *et al.*, 1992). La fécondité de *C. gariepinus* est très élevée, une femelle de taille moyenne (40-50 cm) pouvant libérer de 50.000 à 200.000 œufs par ponte (Hecht, 1996). Une corrélation hautement significative s'observe entre la taille de la femelle et sa fécondité qui est reliée exponentiellement à la longueur (mm) et linéairement aux poids (g). Ainsi, la fécondité relative moyenne de cette espèce oscille entre 20.000 et 25.000 œufs par kilo. La maturité sexuelle, l'IGS, la fécondité et le diamètre des œufs de différents *Siluridae* sont repris dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1. Poids corporel, âge de première maturité sexuelle et index gonadosomatique (IGS) de femelles, et fécondité relative et diamètre des ovules de quelques espèces de Siluridés (source : Legendre *et al.*, 1996).

Espèces	Poids corporel (kg)	Age (année)	IGS (%)	Fécondité (par kg. 10 ³)	Diamètre des ovules (mm)	Références
<i>Ictalurus punctatus</i>	1,5-4	3-6	15	8	3	Grizzle, 1985 ; Tucker et Robinson, 1990.
<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	1,5-3	3-4	8-10	15-18	2,5-3	Hem, 1986 ; Otémé, 1993
<i>Silurus glanis</i>	4-25	>3	3-15	10-25	25-2,9	Fijan, 1975 ; Horvath et Tamas, 1976 ; Wisniewolski, 1988 ; Kouril <i>et al.</i> , 1993.
<i>Hoplosternum littorale</i>	0,07-0,3	1	6-12	45-75	1,4	Hostache <i>et al.</i> , 1993 ; Pascal <i>et al.</i> , 1994.
<i>Clarias gariepinus</i>	0-3	1-3	15-20	30-150	1,2-1,5	Hogendoorn, 1979 ; Richter <i>et al.</i> , 1987 ; Legendre <i>et al.</i> , 1992 ; (Bruton, 1996).
<i>Clarias macrocephalus</i>	0,1-0,2	-	10-12	20-50	1,3-1,6	Ali, 1993 ; Tan-Fermin et Emata, 1993.
<i>Heterobranchus longifilis</i>	2-6	2-4	15	30-120	1,2-1,6	Legendre, 1986 ; Legendre et Otémé, 1995
<i>Pseudoplatystoma coruscans</i>	5-13	-	-	120-130	0,8	Cardaso (pers. comm.)

2.2. Le cannibalisme

Le cannibalisme est un phénomène fréquent en aquaculture. Smith et Reay (1991) le définirent comme « l'acte de tuer et de consommer la totalité ou la majeure partie d'un individu appartenant à sa propre espèce, et ce quel que soit son stade de développement ». On reconnaît deux types de cannibalisme : le cannibalisme de type I, lorsque la taille de la proie est grande par rapport à celle du prédateur (la proie est alors consommée de la queue vers la tête), qui est progressivement remplacé par le cannibalisme de type II, lorsque la différence de taille entre la proie et son prédateur est suffisante pour que cette dernière soit totalement ingérée (Baras et Jobling, 2002).

Le cannibalisme peut être provoqué ou augmenté par toute une série de facteurs biotiques et abiotiques qui peuvent être classés dans une des deux catégories suivantes : génétique ou comportementale, cette seconde catégorie étant principalement contrôlée par les facteurs environnementaux limitants. Le principal caractère génétique influençant le cannibalisme est l'hétérogénéité de taille au sein d'une cohorte. Le comportement cannibale de *C. gariepinus* commence d'autant plus tôt que ses populations sont hétérogènes en taille (Baras et d'Almeida, 2001). Le cannibalisme est donc à la fois une cause et un effet de cette hétérogénéité de taille. Les facteurs environnementaux sont multiples et incluent l'accès à une source alternative de nourriture et la probabilité de capturer des proies, la qualité nutritionnelle de l'aliment ou des proies et la densité de stockage qui peut intensifier ou au contraire réduire le cannibalisme. De nombreux autres facteurs environnementaux tels que l'accès à un refuge, la transparence de l'eau, l'intensité lumineuse, la fréquence à laquelle la nourriture est distribuée et la fréquence avec laquelle les proies alternatives sont présentées influencent de même ce comportement cannibale (Baras et Jobling, 2002 ; Hecht et Pienaar, 1993). Les effets des principaux facteurs intrinsèques et environnementaux qui affectent le cannibalisme chez *C. gariepinus* sont repris dans le tableau 1.2. ci-contre.

Baras et Jobling (2002) proposent une série d'études préliminaires sous des conditions expérimentales susceptibles d'induire le cannibalisme afin de déterminer les habitudes cannibales inconnues d'une nouvelle espèce potentiellement intéressante pour l'aquaculture et ainsi d'être à même de mitiger ce comportement. Hecht (1996) quant à lui liste une série de précautions à prendre afin de minimiser le cannibalisme chez les larves et les juvéniles de *C. gariepinus* : nourrir à satiété toutes les 2 heures en distribuant la nourriture de manière uniforme sur toute la surface d'eau et supplémenter l'aliment avec de la nourriture vivante (d'abord avec des *Artemia*, ensuite avec des *Daphnia*). La taille des particules de nourriture doit être optimisée (2,2 % de la longueur totale du poisson). Les larves devraient être élevées sous de faibles intensités lumineuses (< 30 lux), à une densité de stockage de 150 larves par litre. Enfin, le cannibalisme peut être minimisé en triant régulièrement les juvéniles par classe de taille, en retirant les cannibales et en évitant de sélectionner les individus à croissance trop rapide (cannibales) comme reproducteurs (cela favoriserait la sélection de ce trait comportemental).

2.3. Croissance et régime alimentaire de *Clarias gariepinus* en milieu naturel

La meilleure estimation de la croissance annuelle de *C. gariepinus* est donnée par celle de ses épines, de ses otolites ou de ses sections vertébrales. Les taux de croissance (TC) de différentes populations (Afrique du Sud, Namibie, Zimbabwe, etc) varient fortement. La croissance est plus importante durant la première année et ce pour les deux sexes (Figure 1.1.). Le TC et la taille maximale atteinte seront fonction de la teneur du régime alimentaire en protéines. Il n'y a pas de différence significative entre les TC des mâles et des femelles. Le poids maximal atteint dans la plupart des lacs et des petites rivières, dépasse rarement 20 kg ; des spécimens de très grande taille peuvent être trouvés dans les grandes rivières turbides (poids record : 58,9 kg) (Hecht, 1996).

C. gariepinus a été décrit par Jubb (1967) comme un fouilleur omnivore, ce terme ne spécifiant pas dans ce cas si les matériaux végétaux représentaient une proportion importante de son régime alimentaire (Jubb, 1967 in Clay, 1979). Angelopulo (1947) rapporta que le court tube digestif du poisson-chat africain suggérait un régime carnivore (Angelopulo, 1947 in Clay, 1979). Mais de nombreux auteurs s'accordent à dire que les espèces du genre *Clarias*

se nourrissent de ce qu'ils trouvent et que la présence de grandes quantités de matériaux non-animaux doit être considérée comme fortuite (Groenwald, 1964 *in* Clay, 1979). *C. gariepinus* est donc une espèce euryphage (Bruton, 1979) et opportuniste (Clay, 1979). Les juvéniles se nourrissent dans l'ordre de préférence décroissant d'insectes et de crustacés, de mollusques, de détritus et de plancton. Les adultes et les sub-adultes se nourrissent quant à eux principalement de poissons (Bruton, 1979 ; Van Weerd, 1995).

Leur nature omnivore fut confirmée par Uys (1989) qui démontra que *C. gariepinus* possédait des protéases similaires à celles des espèces carnivores, des mécanismes de digestion de l'amidon semblables à celles des espèces herbivores, et des lysosomes et des phosphatases alcalines comme les détritivores (Uys, 1989 *in* Van Weerd, 1995). Mais d'un point de vue aquacole, l'intérêt est de savoir si ce poisson peut utiliser efficacement les protéines végétales, ce qui fut démontré (Clay, 1979). Cockson et Bourne (1972) mirent par ailleurs en évidence la présence de protéases dans l'estomac et dans la partie antérieure de l'intestin de *C. gariepinus*, la plupart se révélant être des pepsines (Clay, 1981). Les pepsines se retrouvent à la fois chez les carnivores et chez les herbivores possédant un estomac, et leur présence indique donc que *C. gariepinus* est capable de digérer la plupart des protéines avec peu ou pas de spécialisation pour les protéines soit d'origine animale, soit d'origine végétale. Cette capacité à utiliser les matériaux végétaux est, au niveau alimentaire, le point de base de son potentiel en tant qu'espèce d'intérêt pour l'aquaculture (Clay, 1979). Il est par ailleurs physiologiquement équipé pour faire face à des repas non fréquents et irréguliers, ces enzymes digestives répondant rapidement à la présence de nourriture (Uys *et al.*, 1987 *in* Van Weerd, 1995).

C. gariepinus est une espèce au comportement alimentaire nocturne reposant sur des stimuli tactiles, chimiques et même électriques, ce qui explique son aptitude à se nourrir la nuit dans des eaux turbides (Hossain *et al.*, 1999 ; Viveen *et al.*, 1985). Sa grande bouche subterminale et transversale peut effectuer de larges déplacements verticaux lui permettant d'ingurgiter de grandes proies ou d'importants volumes d'eau lorsqu'il se nourrit par filtration. Cette espèce possède des branchiospines sur les bords antérieurs de ses cinq arcs branchiaux, et d'autres supplémentaires sur les bords postérieurs des troisième et quatrième arcs branchiaux (Hecht, 1996). L'adaptation physiologique des poissons-chats africains de moins de 30 cm à se nourrir par filtration est d'un grand intérêt lors de la sélection d'une espèce pour l'aquaculture en étangs, principalement lorsque les températures garantissent une bonne efficacité de fertilisation des étangs (Clay, 1979).

2.4. Exigences écologiques

C. gariepinus vit dans une très large gamme d'eaux continentales, généralement calmes (rivières, marais, lacs, etc.), mais également dans des cours d'eau plus rapides. Ils prospèrent bien dans les lacs turbides et peu profonds ainsi que dans les lacs clairs et profonds, mais ils sont particulièrement présents dans les rivières. Son importante aire de répartition et son intérêt en aquaculture s'expliquent entre autres par ses faibles exigences écologiques et sa capacité à survivre dans une large gamme de valeurs physico-chimiques (tableau 1.3.). Il respire efficacement l'air atmosphérique en utilisant son organe suprabranchial, son épithélium branchial et éventuellement sa peau. Il présente une forte résistance à la dessiccation. Il est capable, pour garder sa peau humide, de sécréter un mucus ou de creuser un trou ou un terrier grossier dans un substrat boueux lors de sécheresse. Il tolère facilement les

eaux turbides ainsi que la surdensité. En conditions d'élevage, la forte densité réduit le stress (jusqu'à 500 kg de poisson / m³) (Hecht, 1996).

3. Aspects généraux de l'aquaculture de *Clarias gariepinus*

Les *Siluridae* font l'objet d'une culture traditionnelle dans de nombreux pays à travers le monde (Pillay, 1990). *C. gariepinus* est l'une des espèces les mieux adaptées à la pisciculture en milieu rural en Afrique qui, pendant longtemps, a été dominée par la culture du tilapia (Micha, 1973 ; Pillay, 1990). Elle a été considérée comme une espèce prometteuse de par son taux de croissance élevé, sa bonne résistance aux manipulations, au stress et aux maladies et l'appréciation de sa chair.

On observe un intérêt croissant pour sa culture. Cependant, la production issue des captures en milieu naturel en 2001 représentait 39.867 tonnes, alors que l'aquaculture n'en produisait que 6.942 tonnes (FAO, 2001). Des conditions de température appropriées représentent le facteur le plus important pour sa culture, particulièrement lors de la période de croissance en bassins. L'élevage de *Clarias* en grossissement en bassins extérieurs n'est dès lors rendue possible, dans certains pays européens, que durant la période estivale (Adamek et Sukop, 1995). Il est cependant possible d'assurer son élevage toute l'année en travaillant en circuit fermé (ex : Université de Wageningen, Pays-Bas) ou en récupérant les eaux chaudes des tours de refroidissement de centrales nucléaires (ex : Piscimeuse, Belgique).

Les caractéristiques qui font de *C. gariepinus* un excellent candidat pour la pisciculture intensive sont multiples : (1) ses géniteurs produisent de grandes quantités d'œufs et de sperme toute l'année, (2) il accepte une grande variété d'aliments artificiels bon marché, (3) il supporte des densités élevées en conditions d'élevage et (4) il tolère de mauvaises conditions environnementales (Hecht *et al.*, 1996). Leur capacité à survivre hors de l'eau pendant de longues périodes en font des poissons de choix pour l'aquaculture dans les pays tropicaux (Pillay, 1990). Il existe de plus des variétés de cette espèce acclimatées aux hautes altitudes et aux faibles températures, telles que celles qui prévalent au Rwanda (Kanangire, 2001).

3.1. Frai et production de juvéniles en conditions d'élevage

3.1.1. Reproduction naturelle ou induite par traitement hormonal

Les poissons-chats africains d'élevage maintenus continuellement dans des conditions favorables, présentent des gonades matures (testicules avec spermatozoïdes abondants, ovaires au stade postvitellogénique) en toutes saisons (Richter et Van Den Hurk, 1982 *in* Legendre *et al.*, 1996), mais sans qu'il y ait spermiation, maturation ovocytaire ou ovulation spontanée suite à l'absence du pic de gonadotrophines qui, en milieu naturel, précède le frai (Legendre *et al.*, 1996).

En étang, *C. gariepinus* est sexuellement mûr après 7 à 10 mois. Ce poisson ne fraye normalement pas en étangs puisqu'il n'est pas soumis au stimulus associé à l'inondation des zones latérales (Viveen *et al.*, 1985). Cependant, certaines astuces telles qu'une augmentation soudaine du niveau de l'eau dans les étangs ou un renouvellement de l'eau peuvent parfois suffire à induire le frai (Legendre *et al.*, 1996 ; Pillay, 1990). Mais cette reproduction semi-

naturelle se solde par un très faible taux de survie des jeunes (cannibalisme, prédation) (Richter, 1976 *in* Legendre *et al.*, 1996 ; Pillay, 1990). La période durant laquelle les géniteurs élevés en étang restent sexuellement mûrs correspond, selon certains auteurs, au cycle naturel de reproduction en milieu naturel (Viveen *et al.*, 1985 ; Goos et Richter, 1996) ou perdure toute l'année selon d'autres (Legendre *et al.*, 1996). La période de reproduction des *C. gariepinus* qui furent élevés toute leur vie dans des conditions d'élevage optimales en bassins intérieurs peut durer 10 à 11 mois (Viveen *et al.*, 1985), et une femelle peut fournir des œufs toutes les 6 à 8 semaines (Hogendoorn et Vismans., 1980). Des œufs et du sperme de bonne qualité pouvant être récoltés à tout moment (Richter *et al.*, 1982 cité par Legendre *et al.*, 1996), il est possible de produire des larves viables durant toute l'année (Richter *et al.*, 1982 *in* Legendre *et al.*, 1996 ; Richter *et al.*, 1987b *in* Goos et Richter, 1996).

C. gariepinus peut être reproduit artificiellement via des traitements hormonaux (tableau 1.4.). Le premier traitement hormonal utilisé dans le cadre d'une reproduction artificielle de cette espèce était à base de désoxycorticostérone (11-deoxycorticostérone acétate ou DOCA) (Hogendoorn, 1979). Un autre traitement hormonal communément utilisé consiste en une injection d'extrait d'hypophyse de carpe, de *C. gariepinus* mâles ou d'autres espèces telles que le tilapia ou *Heterotis* (Legendre *et al.*, 1996 ; Viveen *et al.*, 1985 ; Hogendoorn, 1979 ; Pillay, 1990). *C. gariepinus* étant une espèce oligospermique (IGS < 1%), la récolte de la semence des mâles nécessite leur sacrifice (Legendre *et al.*, 1996 ; Hogendoorn et Vismans, 1980 ; Viveen *et al.*, 1985). Van der Waal (1985) parvint cependant à récolter la semence de mâles injectés avec des homogénats hypophysaires de *Clarias* en pressant leurs flancs, contrairement aux mâles n'ayant pas subi ce traitement préalable (Van der Waal, 1985 *in* Legendre *et al.*, 1996). Mais aucun autre auteur ne semble être parvenu à récolter la semence de *Clarias* mâles de la sorte.

Tableau 1.4. Traitements hormonaux (dose par kg de poids corporel des femelles), température de l'eau (°C), temps de latence (temps (heures) entre la dernière injection et l'ovulation) et pourcentage de femelles de *C. gariepinus* ayant ovulé sous ces conditions (source : Legendre *et al.*, 1996).

Traitement hormonal	Température	Temps de latence	Ovulation	Références
HC, 4 mg	25	11	100	Hogendoorn et Vismans, 1980 ; Richter et Van den Hurk, 1982.
HCG, 4000 U.I.	25	14-16	70-80	Eding <i>et al.</i> , 1982
D-ala ⁶ -LHRH, 0,05 mg	25	12,5	100	De Leuw <i>et al.</i> , 1985
+ PIM, 5mg				
17α-HP, 3 mg (1 ^{ère} inj.)	25	12,5	100	Richter <i>et al.</i> , 1985
+ 5 mg (après 4 h)				
DOCA, 50 mg	25	14	(1)	Richter et Van den Hurk, 1982.

(1) : maturation ovocytaire mais pas d'ovulation.

HC : hypophyse de carpe ; PIM : pimozone ; 17α-HP : 17α-hydroxyprogestérone ; inj. : injection. DOCA : 11-deoxycorticostérone acétate ; LHRH : Leutinizing Hormone Releasing Hormone ; UI : Unité Internationale ; hCH : human Chorionic Gonadotropin.

3.1.2. Influence de la température dans la morphogenèse des embryons de *Clarias gariepinus*

La température est le principal facteur abiotique contrôlant la morphogenèse des embryons et des larves de poïkilothermes. Legendre et Teugels (1991) étudièrent les développements embryogéniques et larvaires de *C. gariepinus*, tandis que Kamler *et al.* (1994) s'intéressèrent aux changements que pouvait induire la température sur le

développement et l'utilisation du vitellus par les embryons de *C. gariepinus* (Haylor et Mollah, 1995). Haylor et Mollah (1995) quant à eux cherchèrent à savoir comment la température (étude portant sur 5 températures constantes comprises entre 15 et 25°C) affectait la durée de l'incubation et la période de transition entre l'alimentation endogène (réserves vitellines) et exogène. Ils observèrent que les œufs de *C. gariepinus* pouvaient éclore à une température ambiante de l'eau comprise entre 20 et 35°C et qu'en-deça de 15°C, aucun embryon ne survivait. Cela correspondait bien aux températures seuils t_0 théoriques de 14,5 °C et de 17,36°C obtenues par Haylor et Mollah (1995) et par Kamler *et al.* (1994), respectivement (Kamler *et al.*, 1994 in Haylor et Mollah, 1995). Une température de 30°C peut être considérée comme optimale pour l'incubation des œufs de *C. gariepinus* (Haylor et Mollah, 1995). Haylor et Mollah (1995) donnèrent en conclusion de leur étude un tableau (tableau 1.5.) reprenant la durée de différentes phases du développement à partir de la fécondation des œufs à différentes températures.

Tableau 1.5. Influence de la température sur les premiers stades de développement de *Clarias gariepinus* (source : Haylor et Mollah, 1995).

Température (°C)	20	22	24	26	28	30	32	34	35
Temps (jours) pour :									
1. Ecllosion	2,36	1,73	1,37	1,13	0,96	0,84	0,74	0,67	0,63
2. Première alimentation	4,78	3,51	2,77	2,29	1,95	1,70	1,50	1,35	1,28
3. Résorption du sac vitellin	6,49	4,76	3,76	3,10	2,64	2,30	2,04	1,83	1,74

3.1.3. L'élevage des larves de *C. gariepinus* : alimentation et performances zootechniques

Les larves de *C. gariepinus* ayant un stade larvaire assez prolongé (11 à 15 jours), celles-ci nécessitent une attention particulière en terme d'alimentation et de nutrition (Hecht, 1996). Bien qu'il soit communément reconnu que les larves de *C. gariepinus* nécessitent une phase d'alimentation avec des proies naturelles, vivantes de préférence (Hecht, 1996 ; Hogendoorn, 1980), pendant au moins les 4 ou 5 premiers jours après le début de leur alimentation exogène (Hecht, 1996), certains chercheurs parvinrent néanmoins à élever avec succès des larves exclusivement au moyen d'aliments artificiels secs (Uys et Hecht, 1985). Les larves, stockées à une densité de 10.000 à 20.000 individus par ha, atteignent un poids d'environ 10 g en trois semaines, lorsqu'elles reçoivent de la nourriture vivante (Pillay, 1990). Les taux de croissance optimaux semblent cependant être atteints avec une combinaison d'aliment artificiel et de nourriture vivante (Hecht, 1996 ; Uys et Hecht, 1985).

L'estomac des larves de *C. gariepinus* n'est totalement développé que 4-6 jours après le début de leur alimentation exogène, ce qui rend problématique l'accessibilité des nutriments contenus dans les aliments secs artificiels (Hecht, 1996). Ceux constitués d'organismes unicellulaires (levures de brasserie) ont cependant prouvé leur efficacité (Hecht, 1996 ; Uys et Hecht, 1985). Les bons résultats obtenus avec des aliments secs fabriqués à base de levures ne peuvent donc s'expliquer que par une meilleure digestibilité des protéines de ces aliments (Hecht, 1996).

Les larves de Siluridés ont des demandes en protéines et en lipides de l'ordre de 50 % et de 10-15 %, respectivement. Les cystes et nauplies d'*Artemia* ayant des contenus en protéines et en lipides de 48-58 et 10-16 %, respectivement, on comprend mieux l'intérêt de leur utilisation dans l'élevage des larves de *Siluridae* (Hecht, 1996). Il ne semble pas que des

recherches visant à déterminer leurs besoins en acides aminés aient été menées, et peu d'informations sont accessibles concernant leurs besoins en acides gras (Sargent *et al.*, 1989 *in* Hecht, 1996) quoique, considérant leur taux de croissance élevé, l'apport en acides gras longs dans leur alimentation soit de première importance (Hetch, 1996). La demande en protéines des larves de *C. gariepinus* diminue de 55 à 32-38 % à partir du moment où elles ont recours à de la nourriture exogène jusqu'à un poids de 20 g, respectivement (Hecht *et al.*, 1988 *in* Hecht, 1996). Cela coïncide avec la forte diminution de leur taux de croissance (TC) (Huisman et Richter, 1987). Quant à l'ingéré relatif, il diminue drastiquement aux cours du développement larvaire. Les larves ont un TC et un coefficient de conversion alimentaire élevés comparés aux larves d'autres espèces (Conceição *et al.*, 1998). L'évolution de différents paramètres d'élevage en fonction de l'âge des larves élevées à 28°C est reprise dans le tableau 1.6. ci-dessous.

Tableau 1.6. Consommation en oxygène spécifique à la masse (CO₂SM), prise alimentaire, taux de croissance relatif (TCR), efficacité de conversion (K₁) de *C. gariepinus* à différents poids corporels secs (PCS) (Conceição *et al.*, 1998).

stade de développement	âge	PSC (mg)	CO ₂ SM (nmol O ₂ .mg ⁻¹ PS (h ⁻¹))	prise alimentaire (% PCS j ⁻¹)	TCR (% PCS j ⁻¹)	K ₁ (%)
Larves	35 hpf	0.07 (0.003)	990.6 (37.8)	152.1	141.0	92.7
vésiculées	45 hpf	0.12 (0.009)	823.9 (54.9)	-	124.7	-
	59 hpf	0.18 (0.005)	722.1 (38.2)	95.0	78.1	82.2
	72 hpf	0.26 (0.012)	581.2 (35.2)	73.0	69.4	95.2
	84 hpf	0.31 (0.002)	464.6 (29.9)	38.4	28.2	73.9
Larves	2 jae	0.56 (0.005)	438.6 (46.7)	51.5 (2.8)	36.4	70.6
nourries	5 jae	1.77 (0.097)	341.8 (16.1)	-	67.2	-
	8 jae	5.02 (0.030)	317.4 (3.55)	51.5 (1.0)	40.8	79.3
juvéniles	-	851	106.9	27.9	8.6	30.8
	-	6449	57.7	14.8	7.6	51.1
	-	17833	54.1	15.7	3.7	23.8
	-	37865	32.8	6.2	2.4	37.9

hpf : heure post-fertilisation ; jae : nombres de jours d'alimentation exogène ; PS : poids sec.

3.2. Elevage, alimentation et croissance des juvéniles de *Clarias gariepinus*

C. gariepinus est un poisson à croissance très rapide qui peut être élevé dans une très large gamme de niveaux d'intensification, depuis le système étang extensif jusqu'à l'élevage super-intensif en circuit fermé. Il peut aussi être élevé en monoculture ou en polyculture, notamment avec le tilapia, *Oreochromis niloticus* (Kanangire, 2001).

3.2.1. La polyculture de *Clarias gariepinus* et sa culture intégrée en milieu rural

L'élevage de tilapias passe par le contrôle de leur reproduction. Les essais relatifs à l'utilisation de *Clariidae* ont démontré les limites et le caractère variable de leur capacité prédatrice (Lazard et Oswald, 1995). Un prédateur ichtyophage strict (*Hemichromis fasciatus*, *Parachanna obscura*) doit donc être mis en charge dans les étangs de culture (Lazard et Oswald, 1995 ; Pillay, 1990). Selon Lazard et Oswald (1995), les siluriformes doivent être considérés comme des poissons de polyculture avec le tilapia, le système d'élevage le plus prometteur étant basé sur la polyculture avec le tilapia comme espèce principale et un silure et *Heterotis niloticus* comme espèces secondaires. *C. gariepinus* peut cependant être un

prédateur efficace à des densités de stockage élevées (8000 à 9000 juvéniles par ha) (De Graaf et Janssen, 1996).

L'intérêt de la polyculture du tilapia et de *C. gariepinus* réside dans l'utilisation plus efficace des ressources alimentaires endogènes (la productivité naturelle) et exogènes des étangs de culture (Tacon, 1996). De plus, les effluents résultant de l'élevage de *C. gariepinus* génèrent, dans un système d'aquaculture intégré, de la nourriture naturelle pour les espèces qui, tel le tilapia, se nourrissent par filtration. Ces systèmes de production intégrée poisson-poisson permettent d'augmenter la production et de préserver l'environnement (Lin et Diana, 1995). L'intérêt qu'offre leur polyculture est évident et est illustrée par quelques valeurs de productions reprises dans le tableau 1.7. D'autres espèces telles que la carpe commune, font également l'objet d'une polyculture avec *C. gariepinus* (Prinsloo *et al.*, 1989).

Tableau 1.7. Polyculture semi-intensive (1) de *Oreochromis niloticus* avec *Clarias gariepinus* en étang d'eau stagnante (source : Viveen *et al.*, 1985).

Nombre de semaines d'élevage	<i>C. gariepinus</i> (2)			<i>O. niloticus</i> (3)			Niveau d'alimentation (% B de <i>Clarias</i> et de tilapia)	Tourteau de coton (g/j/are)	Récolte (kg/ha)
	PM	TS	B	PM	TS	B			
1	1	100	0,3	10	100	2,0	8,5	200	2,3
5	10	85	2,6	14	95	2,7	5,5	300	5,3
9	28	80	6,8	26	90	4,7	3,5	400	11,5
13	64	70	13,5	44	77	6,8	2,5	500	20,3
17	104	65	20,3	60	79	9,5	2,0	600	29,8
21	152	65	29,7	62	105	13,0	1,5	700	42,7
25	184	65	36,0	80	103	16,5	-	récolte	52,5

PM : Poids moyen (g) ; TS : Taux de survie (%) ; B : Biomasse (kg/are).

(1) l'alimentation est réalisée à base d'un enclos de compostage et du tourteau de coton en complément. (2) La densité de mise en charge de *C. gariepinus* est de 300 individus de poids moyen de 1 à 3 g par are, le rendement final est de 7,4 t.ha⁻¹.an⁻¹ et la croissance individuelle journalière est de 1,04 g.j⁻¹. (3) La densité de mise en charge de *O. niloticus* est de 200 individus de poids moyen de 5 à 15 g par are, le rendement final est de 3 t.ha⁻¹.an⁻¹ et la croissance individuelle journalière est de 0,4 g.j⁻¹.

En aquaculture en milieu rurale, *C. gariepinus* vit généralement de la productivité naturelle des étangs de culture, qui peut être accrue en ajoutant une petite quantité de fertilisants (Pillay, 1990). Une des plus simples formes de pisciculture intégrée consiste à utiliser les déchets d'animaux domestiques dans le but de fertiliser les étangs, afin de favoriser la multiplication du zooplancton et du phytoplancton, bien que ce fumier puisse être partiellement directement consommé par les poissons (Billard *et al.*, 1990).

3.2.2. Facteurs influençant les performances zootechniques et le comportement de *C. gariepinus*

L'aspect le plus important sous-jacent au développement fructueux de programmes d'élevage de juvéniles d'une espèce piscicole quelle qu'elle soit est la compréhension des conditions environnementales spécifiques à l'espèce, de ses besoins nutritionnels et des techniques optimales d'élevage et d'alimentation (Hecht, 1996). Les exigences écologiques et les besoins nutritionnels de *C. gariepinus* ayant déjà été développés précédemment, nous ne nous intéresserons qu'aux conditions optimales de son élevage. De nombreuses études sur l'alimentation de *C. gariepinus* ont abouti entre autres à l'établissement de tables de

rationnement, à la détermination de la taille et du mode de présentation des aliments ou encore des rythmes alimentaires. Quelques exemples sont donnés dans le paragraphe ci-dessous.

Plusieurs auteurs démontrèrent que bien que *C. gariepinus* soit une espèce s'alimentant de préférence la nuit, celui-ci était capable d'adapter son comportement alimentaire lorsque la nourriture n'était disponible que le jour (Hossain *et al.*, 1999). Hossain *et al.* (2001) s'intéressèrent pour leur part aux effets qu'auraient la fréquence et la durée des périodes d'alimentation sur la croissance, l'utilisation de la nourriture et la survie des juvéniles de *C. gariepinus*. Ils déterminèrent, pour ce faire, une série de traitements différant dans la manière dont étaient distribués les repas et mesurèrent une série de paramètres (tableau 1.8.) qui indiquèrent que *C. gariepinus* devrait être nourri préférentiellement pendant la nuit (traitement E) ou durant 24 heures (traitement B) en fonction de l'évolution de leur demande en nourriture. Hogendoorn *et al.* (1983) et Hecht *et al.* (1988) établirent quant à eux des tables de rationnements en fonction de la température et du poids moyen des juvéniles de *C. gariepinus* (tableau 1.9.). Almazan-Rueda *et al.* (2004) démontrèrent par ailleurs que, pour les juvéniles du poisson-chat africain, l'activité de nage et le comportement agressif étaient fortement affectés par les conditions d'élevage que sont la méthode d'alimentation, l'intensité lumineuse et la photopériode, et qu'une plus grande activité de nage conduisait à une augmentation de l'incidence des comportement agressifs (Almazan-Rueda *et al.*, 2004). Quant à la taille des granulés distribués (1, 1.5, 2 et 3 mm, respectivement), elle influence la vitesse de vidange stomacale, mais aussi le taux de croissance des juvéniles (poids initial : $0,97 \pm 0,7$ g) de *C. gariepinus*, les meilleurs taux de croissance (0,99) étant obtenus avec des granulés de taille intermédiaire (1.5 et 2 mm) (Hossain *et al.*, 2000).

Tableau 1.8. Variables expérimentales et résultats des différents traitements (Hossain *et al.*, 2001).

traitement	A	B	C	D	E
Période d'alimentation	24 h	24 h	durant le jour	durant le jour	durant la nuit
Mode d'alimentation	continu	continu	4 repas à 4 h d'intervalle	3 repas à 4 h d'intervalle	2 repas à 4 h d'intervalle
horaire de distribution des repas	Distribution continue de l'aliment	18.00-02.00, 02.00-10.00, 10.00-18.00	08.30, 12.30, 16.30, 20.30	09.00, 13.00, 17.00	19.00-23.00, 03.00-07.00
aliment/repas (%)	100	51, 31 et 18	46, 18, 18 et 18	34, 33 et 33	60 et 40
temps/repas	24 h	24 h (8 h)	5 min	5 min	4 h
nbre. de repas	1	1 (3)	4	3	2
Poids initial individuel (g)	0.98 (0.03)	0.95 (0.03)	0.98 (0.06)	0.99 (0.11)	0.97 (0.04)
Poids final individuel (g)	8.03 (0.14) ^c	10.14 (0.19) ^d	7.38 (0.10) ^b	7.15 (0.09) ^a	10.12 (0.12) ^d
TCA	1.09 (0.06) ^d	0.92 (0.05) ^{ab}	1.01 (0.04) ^{cd}	0.94 (0.05) ^{bc}	0.84 (0.04) ^a
Gaspillage	7.75 (0.35) ^{bc}	2.91 (1.54) ^a	8.93 (1.71) ^c	16.12 (2.12) ^d	6.37 (0.52) ^b

TCA : Taux de Conversion Alimentaire ; gaspillage exprimé en % de la quantité d'aliment distribuée.

Tableau 1.9. Table de rationnement (% du poids corporel.jour⁻¹) de *C. gariepinus* selon Hogendoorn (1983) (pour des poids fixés) et Hecht *et al.* (1988) (pour des classes de poids) en fonction de la température.

Température (°C)	Poids moyen (g)											
	1	5	1-10	10-25	25	25-50	50	50-100	100	200	100-300	300-800
20	2,9	1,9	5,0	3,0	1,2	2,0	1,0	1,5	0,9	-	1,2	1,0
22	4,4	3,1	6,8	4,5	2,2	3,0	1,9	2,4	1,6	1,4	2,0	1,7
24	5,8	4,2	8,1	6,0	3,1	4,0	2,7	3,0	2,3	2,0	2,5	2,2
26	7,0	5,1	9,5	6,6	3,7	5,1	3,3	3,6	2,8	2,5	3,2	2,8
28	7,7	5,6	10,0	7,0	4,0	5,5	3,5	4,0	3,0	2,6	3,5	3,1
30	8,0	5,6	9,8	6,8	3,9	5,3	3,4	3,7	2,9	2,5	3,2	2,9
32	7,9	5,3	9,5	6,5	3,6	5,0	3,0	3,5	2,6	-	3,0	2,8

3.2.3. Performances zootechniques des juvéniles de *Clarias gariepinus*

Le rapport élevé entre l'énergie métabolisable de croissance (EMc) et celle de maintenance (EMm) et l'efficacité de conversion de cette EMc en tissus corporels, qui est de 0,8 pour *C. gariepinus*, explique largement la forte capacité de conversion alimentaire de ce poisson (Hogendoorn, 1983). Ce rapport EMc/EMm varie avec le poids corporel et avec la température. Van Weerd (1995) recalcula les rapports EMc/EMm pour des juvéniles de 5 et 200 grammes à différentes températures à partir des observations faites par Hogendoorn (1983) (tableau 1.10.). La quantité d'EM destinée à la production tissulaire à une température de 25°C est 7 fois supérieure à celle destinée à la maintenance chez des juvéniles de 5 g ; elle ne l'est plus que de 4,9 fois chez des poissons de 200 g. La valeur du rapport EMc/EMm et, par conséquent, le potentiel de croissance de *C. gariepinus* diminuent donc lorsque la taille des poissons augmente (Hogendoorn, 1983). Ceux de petite taille grandissent mieux à une température de 30°C, mais les résultats obtenus à 25°C sont également acceptables. Quant aux poissons de plus grande taille, leur croissance est maximale à 25°C, mais elle diminue fortement à 20 et à 30°C (Hogendoorn *et al.*, 1983 ; Van Weerd, 1995). L'efficacité de conversion de EMc en tissus corporels est indépendante du poids corporel, du niveau d'alimentation et de la température (Hogendoorn *et al.*, 1983) ; ces facteurs affectent dès lors la croissance principalement au travers des besoins de maintenance et de la quantité maximale d'aliments ingérés ou du métabolisme (Heinsbroek, 1987 *in* Van Weerd, 1995).

Tableau 1.10. EMc/EMm en fonction du poids corporel et de la température (sources : Hogendoorn, 1983 ; Van Weerd, 1995).

Espèces	T (°C)	EMc/EMm
<i>C. gariepinus</i> (5 g)	20	2,8
	25	7,0
	30	9,4
<i>C. gariepinus</i> (200 g)	20	3,7
	25	4,9
	30	2,6
<i>Clarias gariepinus</i>	-	4-13
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	-	1-9
<i>Anguilla anguilla</i>	-	2-4
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	-	5

Machiels et Henken (1986) développèrent un modèle dynamique de simulation afin de prédire les relations entre le taux d'alimentation et la croissance et le métabolisme de

poissons-chats africains de différentes classes de poids élevés à différentes températures et nourris avec un aliment commercial. Ce modèle représentait de manière adéquate les relations mentionnées ci-dessus, et les auteurs conclurent que *C. gariepinus* utilisait les nutriments avec une efficacité biochimique maximale (Machiels et Henken, 1986 in Van Weerd, 1995). Dans une étude subséquente, Machiels et Hencken (1987) prirent en compte les effets de la composition de l'aliment (protéines, lipides, hydrates de carbone). Lorsque l'aliment était composé à 22 % ou plus de lipides, le gain en poids frais diminuait suite à une diminution de l'ingéré causée par une augmentation du pourcentage en graisse corporelle (Machiels et Hencken, 1987). Machiels et Van Dam (1987) modifièrent donc ce modèle afin de pouvoir prédire le gain en poids frais de *C. gariepinus* nourri avec des aliments de différentes compositions (Machiels et Van Dam, 1987 in Van Weerd, 1995).

Les juvéniles de *C. gariepinus* ont des taux de croissance spécifique (SGR) et de conversion alimentaire (FC) comparables à ceux des autres espèces de poissons. Si l'on compare la prise alimentaire, le taux de croissance relatif (TCR = TC exprimé en % du poids corporel sec par jour), la consommation d'oxygène spécifique à une masse donnée et l'efficacité de conversion alimentaire des larves vésiculées, des larves nourries et des juvéniles de 0,85 ; 6,45 ; 17,8 et 37,7 g, respectivement (tableau 1.8. point 4.2.2.), les valeurs mesurées pour ces derniers sont supérieures à celles obtenues pour les larves nourries ou vésiculées (Conceição *et al.*, 1998). Le SGR et le FC de différentes classes de taille de *C. gariepinus* sont regroupés dans le tableau 1.11., pour des niveaux d'alimentation optimaux (FL). Le taux de croissance spécifique de *C. gariepinus* diminue de 12 % par jour pour des juvéniles (0,3-14 g) à moins de 2 % par jour pour des adultes (200-300 g). Le taux de conversion alimentaire quant à lui augmente de 0,7 pour des juvéniles à 1,5 pour des adultes. Les taux de croissance spécifique et de conversion alimentaire mesurés chez *C. isheriensis*, *C. batrachus* et *C. fuscus* sont tous inférieurs à ceux mesurés chez *C. gariepinus*. Cela explique entre autres la popularité de cette espèce en aquaculture (Van Weerd, 1995).

Tableau 1.11. Taux de croissance spécifique (SGR) et taux de conversion alimentaire (FC) au taux optimal d'alimentation (FL), en % de leur poids corporel par jour, à différentes températures pour différentes classes de taille de *C. gariepinus* (source : Van Weerd, 1995).

Classe de taille (g)	SGR (%/jour)	FC (g/g)	FL (%/jour)	Température (°C)	Référence
0,3-3	11	1,2	10	30	Hogendoorn <i>et al.</i> , 1983
0,5-10	8-12	0,7-1,4	10	30	Hogendoorn, 1981
1-14	9-12	0,6-0,9	-	26-34	Uys, 1989
3,5-21,5	1,7	0,94	4	27	Degani <i>et al.</i> , 1988
0,8-37,7	2,4-8,6	-	6,2-51,5	28	Conceição <i>et al.</i> , 1998
9-36	5-7	0,8-1,0	-	26-34	Uys, 1989
5-40	6	1,6	5	30	Hogendoorn <i>et al.</i> , 1983
17-49	3-5	0,7-1,0	-	26-34	Uys, 1989
25-70	4	1,6	4	30	Hogendoorn <i>et al.</i> , 1983
5-150	3,7	-	ad libitum	-	Wedekin, 1991
5-170	3,9	-	ad libitum	-	Wedekin, 1991
95-200	2	3,0	1,5	25	Hogendoorn <i>et al.</i> , 1983
5-220	4,2	-	ad libitum	-	Wedekin, 1991
160-303	1,3-3,1	1,17-2,01	-	26-34	Uys, 1989
5-320	4,5	-	ad libitum	-	Wedekin, 1991
10-340	1,9	0,93	4	27	Degani <i>et al.</i> , 1989

4. Besoins nutritionnels des *Siluridae*

Le poisson-chat américain ou barbus de rivière, *Ictalurus punctatus*, étant l'espèce de poisson dont l'élevage à des fins culinaires est le plus développé aux Etats-Unis, la connaissance de ses besoins nutritionnels est bien maîtrisée. Pour les autres espèces de Siluridés, celle-ci est plus restreinte et souvent basée sur celle du poisson-chat américain. Quelques données sont cependant disponibles sur des espèces africaines (*C. gariepinus*, *C. isheriensis*, *H. longifilis*, *H. bidorsalis*), asiatiques (*C. batrachus*, *C. macrocephalus*, *C. fuscus*, *H. fossilis*) et européennes (*Silurus glanis*) (Wilson et Moreau, 1996) (tableaux 1.12.).

Le pourcentage d'incorporation optimal en protéines brutes dans un aliment destiné à *Ictalurus punctatus* varie entre 25 et 36 %. Les niveaux quotidiens en protéines recommandés pour les autres *Siluridae* sont généralement plus élevés que ceux de *Ictalurus punctatus* (Wilson et Moreau, 1996). La demande nutritionnelle de *C. gariepinus* en protéines est de l'ordre de 40 % (Van Weerd, 1995). Si on estime à 50 % sa teneur en protéines corporelles (matières sèches) (Hogendoorn, 1983), ses besoins de base approximatifs en protéines se situent aux alentours de 30 % du niveau protéique permettant la croissance maximale (11 g.kg⁻¹ poids vif.jour⁻¹) (Pouomogne, 1995). Quant aux besoins en acides aminés indispensables (AAI) des *Clariidae*, ils sont généralement fixés d'après les besoins de *Ictalurus punctatus* (tableau 1.13.).

Tableau 1.13. Besoins en AAI de *Ictalurus punctatus* (Robinson et Li, 1995).

AAI	Besoin (g/16g N)
Arginine	4,3
Histidine	1,5
Isoleucine	2,6
Leucine	3,5
Lysine	5,1
Méthionine + Cystine	2,3
Phénylalanine + Tyrosine	5,0
Thréonine	2,0
Tryptophane	0,5
Valine	3,0

La teneur en lipides des aliments destinés à *Ictalurus punctatus* est en général de 5-6 % (Wilson et Moreau, 1996). En ce qui concerne *C. gariepinus*, une teneur de l'aliment en lipides de 10 à 12 % semble être optimale (Uys, 1989 in Van Weerd, 1995). De plus, un certain équilibre entre les acides gras longs n-3 et n-6 doit être maintenu. Ainsi, des concentrations élevées en acide linoléique (C18:2n6) ou en acide linoléique (C18:3n3) dans les aliments destinés à *Ictalurus punctatus* conduisent à des TC inférieurs chez ce dernier. Cet effet néfaste de la série apportée en excès est vraisemblablement dû à la compétition au niveau des mêmes enzymes de désaturation (Guillaume *et al.*, 1999 ; Xu et Kestemont, 2002). Quant à la composition en acides gras (AG) des muscles de *C. gariepinus*, elle varie en fonction de la composition en AG de l'aliment (Hoffman et Prinsloo, 1995 ; Ng *et al.*, 2003).

L'énergie que contiennent les aliments pour poissons et les besoins en énergie des différentes espèces d'élevage devraient être exprimés en énergie digestible (ED) plutôt qu'en énergie brute (EB). En effet, bien qu'un aliment aquacole puisse renfermer la quantité

adéquate d'EB requise par le poisson, il se peut que cet aliment soit tellement indigeste et que la quantité d'énergie réellement disponible pour le poisson, l'ED, soit bien inférieure aux besoins en ED de ce dernier. Un apport en ED de 11,7 kJ par gramme d'un aliment destiné à la croissance des poissons-chats américains semble approprié. Quant aux rapport protéine-énergie (P/E) adéquat pour la production de poissons-chats américains juvéniles et de taille commerciale, il varie entre 26 à 30 mg de protéines/kJ d'énergie digestible (ED) (Wilson et Moreau, 1996). Les besoins en ED de *C. gariepinus* varie entre 10,5 et 18,5 kJ/g d'aliment selon les auteurs, ce qui correspond à un rapport P/E allant de 21,5 à 36 mg de protéines/kJ ED (Hecht *et al.*, 1988 ; Stickney, 1991 ; Van Weerd, 1995 ; Webster *et al.*, 1995). Ce rapport est quelque peu inférieur pour *C. batrachus* et pour *C. isheriensis*. De plus, le rapport P/E optimal pour le poisson-chat africain augmente avec l'augmentation de la température. Il passe de 25,4 mg de protéines/kJ d'EM à 24°C à 34,7 mg de protéines/kJ d'EM à 29°C (Henken *et al.*, 1986 ; Stickney, 1991).

Ictalurus punctatus utilise efficacement les hydrates de carbone alimentaires comme source d'énergie et convertit l'excès d'énergie en lipides. Leurs aliments contiennent 25 % ou plus d'hydrates de carbone solubles (digestibles), leur digestibilité étant de 60 % ou plus (Robinson et Li, 1995). Il existe certaines controverses quant à la capacité des *Clarias spp.* à assimiler et à métaboliser les sucres (Van Weerd, 1995). De plus, Machiels et Van Dam (1987) mentionnèrent que *C. gariepinus* n'était pas capable de métaboliser rapidement le glucose (Machiels et Van Dam, 1987 in Van Weerd, 1995). Malgré cette controverse, leurs taux d'inclusion dans les aliments pour *Clarias* sont généralement substantiels et vont de 15 à 35 % pour *C. gariepinus* (Balogun et Ologhobo, 1989 ; Van Weerd, 1995).

Les besoins en vitamines, minéraux et oligoéléments des *Clariidae* sont déterminés d'après les besoins de *Ictalurus punctatus* (tableaux 1.14.).

Tableaux 1.14. Besoins en vitamines, en macrominéraux et en oligoéléments de *Ictalurus punctatus* (sources : Webster et Lim, 2002 ; Guillaume *et al.*, 1999)

Vitamines (mg ou UI/kg d'aliment)	Webster et Lim (2002)
A (UI)	1000-2000
D (UI)	250-1000
E (UI)	25-50 (100)
K (UI)	10
Thiamine	1 (20)
Riboflavine	6-9 (20)
Pyridoxine	3 (20)
Ac. pantothénique	10-20 (50)
Niacine	7,4-14
Ac. folique	1,5
B 12	1,5 (0,02)
Biotine	0,1
Ac. ascorbique	11-60 (100)
Inositol	NR
Choline	400

Macrominéraux (%)	Guillaume <i>et al.</i> (1999); Webster et Lim (2002)
Phosphore (P)	0,30,45
Calcium (Ca)	0,45 ^a
Magnésium (Mg)	0,02-0,04
Potassium (K)	0,26

^c : eau sans Ca

Oligoéléments (ppm)	Guillaume <i>et al.</i> (1999) ; Webster et Lim (2002)
Zinc (Zn)	20
Manganèse (Mn)	2,4
Cobalt (Co)	-
Cuivre (Cu)	4,8-5
Iode (I)	-
Fer (Fe)	20-30
Selenium (Se)	0,25

5. Substitution de la farine de poisson par des sous-produits agro-alimentaires dans la formulation d'un aliment destiné à *Clarias gariepinus*.

Il existe de nombreux sous-produits agro-alimentaires qui peuvent servir de substituts aux farines de poissons : tourteaux de soja, d'arachide, de tournesol, farines de pois ou de haricots, viscères d'animaux d'élevage, levures de brasserie, etc. En aquaculture extensive, un aliment complémentaire constitué d'un ou deux ingrédients seulement peut être utilisé. Les besoins alimentaires non couverts par cet aliment le seront via les ressources du milieu. L'augmentation de la densité d'élevage nécessite le recours à des aliments bien équilibrés qui fournissent les éléments indispensables à la croissance et à la survie des organismes, la productivité naturelle ne permettant plus de supporter des productions de poissons suffisantes.

La farine de poisson fait partie de ces aliments riches en macronutriments indispensables, mais son prix d'achat élevé (que ne pourraient assumer les petits producteurs africains ruraux) et sa fréquente indisponibilité ne rendent son utilisation possible que dans le cas d'une production aquacole à haute valeur ajoutée et dans des régions bien desservies en ce produit. Les aquaculteurs des pays en voie de développement doivent dès lors avoir recours à d'autres types d'ingrédients qui, ensemble, fournissent aux organismes l'ensemble des éléments requis pour leur croissance et leur survie. L'utilisation de sous-produits agro-industriels montre que leur incorporation dans les aliments peut avoir des impacts négatifs sur les performances zootechniques des organismes de par la présence d'une large variété de facteurs antinutritionnels (Tacon, 1993 *in* Fagbenro, 1999b). Il existe cependant des variétés végétales contenant de faibles niveaux de facteurs antinutritionnels qui, combinées aux nouvelles techniques de traitements de ces végétaux, ont permis d'augmenter leur incorporation dans les aliments pour poissons (Fagbenro, 1999b ; Hardy, 1999).

5.1. Les sous-produits agro-industriels utilisés en aquaculture et plus particulièrement dans le cadre de cette expérience

Les farines de graines d'oléagineux (tourteaux de tournesol, de coton, d'arachide, de soja, etc) servant à la production d'huile ont remplacé avec succès une proportion significative des protéines issues des farines de poissons, avec des bénéfices nutritionnels, économiques et environnementaux. De même, les céréales et leurs sous-produits (son de riz, drèche de brasserie, etc.) représentent une source de protéines et d'énergie intéressante en aquaculture. Les recherches menées dans le but de remplacer partiellement ou totalement les farines de poissons dans les aliments destinés à *C. gariepinus* ne manquent pas. Nous ne nous intéresserons dans les paragraphes suivant qu'aux trois grands sous-produits végétaux utilisés dans le cadre de l'expérience : les tourteaux de tournesol et d'arachide et la farine de pois. De nombreux autres sous-produits agro-industriels furent cependant utilisés comme source de protéines alternatives dans l'alimentation du poisson-chat africain : farines de pois carrés (Fagbenro, 1999a,b), faines de déchets de tomates, drèches de brasserie, graines de soja non décortiquées ou farine de graines de soja (Hoffman *et al.*, 1997), déchets de poulets ensilés avec de l'acide citrique (Fagbenro et Fasakin, 1996), etc (tableau 1.15.).

Lors de la formulation d'un aliment pour poissons, il convient de connaître la composition bromatologique des différents ingrédients utilisés. Si l'on connaît par ailleurs les exigences alimentaires de l'espèce considérée, il devient possible de fabriquer un aliment qui répond à ces exigences, en favorisant l'utilisation de certains ingrédients plutôt que d'autres.

De plus, si certaines exigences nutritionnelles ne sont pas respectées au moment de la préparation de l'aliment, il est possible d'y suppléer par un concentré synthétique. La composition bromatologique des principaux ingrédients utilisés dans notre expérience est reprise dans le tableau 1.16.

5.1.1. Le tourteau d'arachide

Le tourteau d'arachide est un sous-produit de l'extraction de l'huile des graines d'arachide, *Arachis hypogaea* L., une légumineuse originaire du Pérou qui abonde en Afrique (Adrian et Jacquot, 1968 ; Hertrampf et Piedad-Pascual, 2000). La production rwandaise d'arachide était, en 2001, de 7.000 tonnes (FAO, 2001). Cette graine contient 40 à 50 % d'huile (Adrian et Jacquot, 1968 ; Jacquot et Ferrando, 1957). Ce tourteau est le plus riche en protéines (48 à 50 % de la matière sèche du tourteau de pression décortiqué) (Guillaume *et al.*, 1999). Celles-ci ont une teneur élevée en arginine d'une part, mais sont poly-déficientes d'autre part (Tableau 1.17.). En dehors du déficit en méthionine qui atteint au moins 65 %, on en relève trois autres qui dépassent 40 % : les déficits en isoleucine, lysine et thréonine (Adrian et Jacquot, 1968). L'intérêt de l'arachide réside moins dans la qualité de ses protéines que dans son taux d'azote élevé. Les tourteaux de pression renferment 6 à 9 % d'huile résiduelle; ceux résultant de l'extraction de l'huile par solvant en renferment environ 1 % (Adrian et Jacquot, 1968 ; Hertrampf et Piedad-Pascual, 2000). Cette huile est riche en acide oléique (12,1 g/kg de tourteau), mais pauvre en acide linoléique (0,2 g/kg) (Jacquot et Ferrando, 1957 ; Sauvante *et al.*, 2002 ; Sauvante *et al.*, 2002). Sa présence améliore la valeur énergétique du tourteau (Adrian et Jacquot, 1968). Le tourteau d'arachide contient des niveaux appréciables en minéraux, bien qu'il soit particulièrement dépourvu en sodium (Hertrampf et Piedad-Pascual, 2000) et en calcium (Jacquot et Ferrando, 1957).

En zootechnie, ce tourteau est considéré comme inférieur à d'autres tourteaux tels ceux de soja et de coton de par sa poly-déficiences en AAI. Pour qu'il offre un intérêt comparable à ces derniers, il suffit de l'utiliser à fortes doses. L'utilisation des protéines et des lipides de la graine est parfaitement satisfaisante (Adrian et Jacquot, 1968). Le tourteau d'arachide est très peu utilisé en aquaculture (Hertrampf et Piedad-Pascual, 2000). Son utilisation s'est révélée particulièrement intéressante chez *Ictalurus punctatus* (Jantrarotrai et Lovell, 1991 *in* Poumogne, 1995). Chez *C. gariepinus*, hormis les travaux de Poumogne (1995) qui compara la croissance et l'efficacité alimentaire chez des juvéniles recevant des aliments contenant des proportions variables de son de riz et de tourteau d'arachide selon les proportions 0:100, 20:80, 80:20, 100:0, respectivement, son utilisation n'a pas été rapportée. Il observa que le régime contenant 80 % de tourteau d'arachide et 20 % de son de riz se révélait le plus intéressant du point de vue de la croissance ($TCS (\% \cdot j^{-1}) = 1,5$) et du prix de revient de l'aliment. Le tourteau d'arachide fut aussi incorporé dans des aliments destinés à la carpe indienne (*Catla catla*), au tilapia (*Tilapia discolor*) et à *Clarias anguillaris* (Hertrampf et Piedad-Pascual, 2000).

La peau de la graine d'arachide renferme 16-19 % de tannins et réagit fortement avec le cuivre. Le contenu en tannins du tourteau d'arachide, les inhibiteurs de trypsine qui peuvent se retrouver dans les amandes des graines ainsi que la petite quantité d'acide oxalique (0,16 % de la matière sèche, MS) semblent n'avoir que peu de conséquences en aquaculture (Hertrampf et Piedad-Pascual, 2000). L'incorporation de ce tourteau à des teneurs relativement élevées est souvent limitée, en zones de climat chaud et humide favorable aux développement des moisissures, par la présence d'aflatoxines (Jantrarotrai et Lovell, 1991 *in* Poumogne, 1995) produites principalement par *Aspergillus flavus*. Ces mycotoxines

constituent une des premières causes de mortalité par intoxication alimentaire en Afrique. Les lésions caractéristiques de ces dernières sont de type hépatique (Adrian *et al.*, 1968). Il existe des traitements chimiques de détoxification à base d'*alcalii* des tourteaux d'arachides contaminés (ex : addition de NH_3).

5.1.2. Les tourteaux et l'huile de tournesol

Le tourteau de tournesol est un sous-produit de l'extraction de l'huile des graines du grand soleil, *Héliantus annuus*, famille des composées, originaire d'Amérique centrale (Jacquot et Ferrando, 1957 ; FAO, 2001). Cette graine est encombrée de cellulose qui nuit à son utilisation digestive et en restreint l'emploi. Selon qu'elle aura été dépouillée ou non de son péricarpe, on obtiendra trois sortes de tourteaux dont la valeur alimentaire et la teneur en matières azotées sont très différentes : les tourteaux décortiqués (50 % de protéines brutes) partiellement décortiqués (entre 30 et 35 % de protéines brutes) ou non décortiqués (25 % de protéines brutes), respectivement (Jacquot et Ferrando, 1957 ; Hertrampf et Piedad-Pascual, 2000). Les graines de tournesol décortiquées contiennent entre 42 et 63 % d'huile ; celles non décortiquées n'en contiennent que 22 à 35 %. Celle-ci est riche en acide linoléique et en acides gras polyinsaturés, mais ne possède que très peu d'acide linoléique. Sa digestibilité est de presque 100 % chez l'anguille européenne, mais n'est que de 63 % chez la truite arc-en-ciel. Sa valeur nutritive est élevée (Hertrampf et Piedad-Pascual, 2000).

Les matières protéiques du tourteau de tournesol décortiqué ont une grande valeur biologique ; le tourteau de tournesol non décortiqué est, quant à lui, un aliment de médiocre valeur pouvant contenir jusqu'à 30 % de fibres brutes. Il est donc recommandé de n'utiliser que des tourteaux de tournesol décortiqué à des taux d'inclusion n'excédant pas 10 ou 20 % pour des espèces carnivores ou herbivores-omnivores, respectivement (Jacquot et Ferrando, 1957). Leurs protéines sont déficientes en lysine, mais leurs teneurs en méthionine et en arginine sont élevées (Tableau 1.17.). Leur contenu en graisse dépend du mode d'extraction de l'huile. Le tourteau de tournesol est une source utile d'acide nicotinique et de choline et il renferme en général plus de vitamines que le tourteau de coton. Il contient des tannins, des inhibiteurs de protéases et un inhibiteur d'arginine, mais ne contient pas d'inhibiteurs de trypsine. Ce tourteau est également susceptible d'être contaminé par des aflatoxines (Hertrampf et Piedad-Pascual, 2000).

5.1.3. La farine de haricot

De la famille des *Fabaceae*, les haricots (*Phaseolus vulgaris*) sont originaires d'Amérique du sud. La production rwandaise de haricot était, en 2001, de 242.000 tonnes (FAO, 2001). Septante pour cent des protéines de stockage des graines des légumineuses sont des globulines, la fraction restante étant constituée d'albumines (10-20 %) et de glutelines (10-20 %) (Baudoin et Maquet, 1999 ; Pusztai *et al.*, 1975). Le contenu en acides aminés soufrés (méthionine et cystine) de ces protéines est faible (Baudoin et Maquet, 1999). Le tryptophane est également, dans une moindre mesure, un acide aminé limitant (Pusztai *et al.*, 1979). Baldi et Salamini (1973) mesurèrent des pourcentages en protéines chez 22 espèces de *Phaseolus* variant entre 22 et 36 %, avec de fortes variations dans le pourcentage de cystéine et un contenu en méthionine dans tous les cas inférieur au contenu minimum (2,2 %) suggéré par le groupe Expert FAO/WHO (Tableau 1.17.). La faible valeur biologique des graines de légumineuses peut être améliorée par un traitement thermique approprié, leur complémentation avec d'autres ingrédients (principalement des céréales) ou avec de la méthionine de synthèse et l'augmentation de leur taux d'incorporation (Hernandez-Infante *et*

al., 1979). Il est possible d'améliorer génétiquement leur contenu protéique et leur balance en AA en créant des espèces hybrides de *Phaseolus* (Baudoin et Maquet, 1999).

Les haricots contiennent divers facteurs antinutritionnels thermolabiles, mais leur toxicité est principalement due à la présence de lectines hémagglutinantes de type globuline et albumine, résistant à la protéolyse trypsique et réagissant fortement avec les surfaces cellulaires (Hernandez-Infante *et al.*, 1979 ; Pusztai *et al.*, 1975, 1979). Les cultivars renfermant les plus faibles taux de lectines (ex : haricot Pinto II, haricot Great Northern) ont l'utilisation protéique nette (NPU) la plus élevée. Inversement, les cultivars renfermant les taux de globulines les plus élevés (4 % ou plus de la quantité totale de protéines) ont un NPU proche de zéro et sont très toxiques (Pusztai *et al.*, 1979). Les lectines des haricots interféreraient sérieusement avec le fonctionnement des cellules intestinales, affectant la digestion et l'absorption de la nourriture ingérée. La mauvaise digestibilité de certaines des protéines des cultivars de *P. vulgaris* est accréditée aux effets combinés de la présence d'inhibiteurs de trypsine, qui semblerait n'avoir qu'un rôle mineur dans la toxicité des haricots, et de la nature réfractaire des protéines non dénaturées à se faire attaquer par les protéases pancréatiques. De plus, d'autres facteurs présents dans les haricots et leurs digestats protéolytiques interfèrent probablement avec l'absorption et la rétention des matières azotées (Pusztai *et al.*, 1975, 1979). Quant à l'acide aminé non protéique S-méthyl-cystéine, il fut suspecté d'être un antimétabolite des AA soufrés (Baldi et Salamini, 1973).

5.2. Les facteurs antinutritionnels

La large variété de facteurs antinutritionnels que l'on retrouve dans les matériaux dérivés de plantes limite leur utilisation en aquaculture. On peut les classer en quatre groupes : (1) les facteurs affectant l'utilisation et la digestion des protéines (inhibiteurs de protéases, tannins, lectines), (2) les facteurs affectant l'utilisation des minéraux (acides phytiques, gossypol, oxalates, glucosinolates), (3) les antivitamines et (4) les autres substances diverses (mycotoxines, mimosine, cyanogènes, nitrates, alcaloïdes, agents photosensibles, phytoestrogènes et saponines). On peut aussi les classer en fonction de leur thermosensibilité : les facteurs thermosensibles sont les inhibiteurs de protéases, les acides phytiques, les lectines, les goïtrogènes et les antivitamines ; les facteurs thermostables sont représentés par les saponines, les polysaccharides autres que l'amidon, les protéines antigéniques, les oestrogènes et certains composés phénoliques. Les matériaux dérivés de plantes contenant souvent plus d'un facteur anti-nutritionnel, il est souvent difficile de déterminer quel est le facteur responsable des effets adversatifs observés. Leur toxicité varie d'un composé à l'autre. Certaines toxines fongiques (aflatoxines) ont une toxicité extrêmement élevée. Il est peu probable que les inhibiteurs de protéases, les acides phytiques et les composés antigéniques affectent la croissance des poissons. Le rôle joué par les glucosinolates, les saponines, les tannins, les esters phorbiques, les polysaccharides solubles autres que l'amidon et le gossypol semblent par contre jouer un rôle plus important. Quant aux substances telles que les lectines, les phyto-oestrogènes ou les alcaloïdes, les informations les concernant ne semblent pas suffisantes pour en arriver à quelque conclusion que ce soit (Francis *et al.*, 2001)

Certains sous-produits agro-alimentaires doivent être soumis à un pré-traitement (cuisson, extrusion, etc.) avant leur incorporation dans un aliment (Guillaume *et al.*, 1999), les principaux traitements étant de type thermique. D'autres techniques telles que le séchage, l'extraction aqueuse ou encore l'addition de suppléments nutritionnels ont donné de bons résultats. Les toxines et les inhibiteurs d'une série d'ingrédients ainsi que les processus de

désactivation de ces toxines sont repris dans le tableau 1.18. Ces traitements permettent généralement d'augmenter la valeur nutritionnelle de l'ingrédient (Pillay, 1990). Ainsi, le traitement thermique adéquat des farines de soja permettent d'augmenter l'utilisation de leurs éléments essentiels par *Ictalurus punctatus*, ainsi que sa résistance à certains pathogènes et infections, bien que ce dernier point ne se vérifie pas toujours (Peres *et al.*, 2003 ; Pillay, 1990). Il permet également d'augmenter la valeur nutritionnelle des céréales en gélatinisant leur amidon et en augmentant leur digestibilité (Pillay, 1990).

Les tannins sont des composés de structures chimiques variables fort présents dans le règne végétal. On distingue généralement les tannins hydrolysables et condensés. Ils exercent leur activité antinutritionnelle en interférant avec les processus de digestion, en se liant soit aux enzymes digestives, soit à certains constituants des aliments tels que les protéines ou les minéraux (Liener, 1989 *in* Francis *et al.*, 2001). Ils réduisent également l'absorption de la vitamine B12 (Francis *et al.*, 2001). Ils sont aussi connus pour interagir avec d'autres facteurs antinutritionnels, ce qui peut éventuellement annuler leur action inhibitrice (Fish et Thompson, 1991). Une des méthodes d'extraction des tannins consiste à décortiquer les graines afin de les débarrasser de leurs membranes externes riches en ces substances (Griffiths, 1991 *in* Francis *et al.*, 2001). Les acides phytiques sont également particulièrement présents dans les végétaux, surtout dans les graines de céréales. Les phytates, en se complexant aux minéraux essentiels et aux protéines, diminuent leur bio-accessibilité, ces complexes minéraux/protéines-phytates n'étant pas digestibles (Febles *et al.*, 2001). Les phytates sont surtout concentrés dans les cotylédons. Le trempage et la germination permettent d'en diminuer considérablement le contenu (Alonso *et al.*, 2000). Les végétaux, particulièrement les graines de légumineuses et de céréales, renferment également des inhibiteurs de protéases, dont les inhibiteurs de trypsine qui inhibent l'activité trypsique, provoquent une hypersécrétion d'enzymes pancréatiques (trypsine), stimulent l'hypertrophie pancréatique et réduisent la digestion et l'absorption des protéines. Un traitement thermique adéquat permet de réduire substantiellement les teneurs en inhibiteurs de trypsine des végétaux (Francis *et al.*, 2001 ; Pisulewska et Pisulewski, 2000).

6. Conclusion

Le poisson-chat africain fait sans aucun doute partie des espèces qui, d'un point de vue biologique, sont les plus adaptées à l'aquaculture. Il est d'ailleurs couramment mis en élevage à des fins commerciales et de subsistance dans au moins 17 pays africains, dont le Rwanda (Hecht *et al.*, 1996). Il possède une large aire de répartition, il est résistant et s'adapte à des environnements divers, il se nourrit dans une large gamme de proies naturelles et d'aliments artificiels, il est très fécond et peut être facilement reproduit en captivité. Il tolère une eau de qualité relativement pauvre et l'attrait majeur de ce poisson est la possibilité de son élevage à de fortes densités de population (Hecht *et al.*, 1988) dans des eaux pouvant être de qualité relativement médiocre (turbidité élevée, faible concentration en oxygène, etc.). De nombreuses études ont été réalisées sous différentes conditions expérimentales de température, de luminosité, en élevage plus ou moins intensif, en mono- ou poly-culture, avec des aliments de composition diverses, etc., afin de comprendre l'influence de ces différents facteurs biotiques et abiotiques sur les performances zootechniques de *C. gariepinus*. Les résultats de certains de ces nombreux travaux ont été cités tout au long de cette partie bibliographique.

Malgré son potentiel en aquaculture, la production globale de *C. gariepinus* en Afrique en 2001 rapportée par la FAO était assez décevante (2361,6 tonnes). L'aquaculture en Afrique ne peut progresser que dans le cas d'un changement fondamental de philosophie qui viserait non plus simplement à améliorer les conditions alimentaires à un niveau familial via une aquaculture de subsistance, mais qui chercherait à commercialiser à petite ou plus large échelle le fruit de leur production. C'est heureusement ce qui s'observe dans le contexte actuel, étant donné les revenus que cette activité peut rapporter à une famille (Molnar *et al.*, 1991). Le développement de la culture de *C. gariepinus* dans les pays en voie de développement ne sera réalisable qu'à condition que l'on y valorise les sous-produits agro-industriels locaux, l'accès aux farines de poissons traditionnellement utilisées dans la production de poissons à haute valeur ajoutée n'étant pas toujours possible et représentant une dépense trop importante que ne pourraient assumer les petits producteurs locaux. La formulation de régimes alimentaires à un moindre coût est un critère déterminant pour le développement de l'aquaculture en Afrique. Les expériences dans lesquelles des sous-produits agro-industriels substituèrent les farines de poissons dans l'alimentation du *Clarias* sont nombreuses et démontrèrent que ce poisson était capable d'utiliser de manière optimale la plupart des aliments qui lui sont proposés, ce qui pourrait s'expliquer par sa physiologie digestive et son écologie alimentaire. Parmi toutes ces expériences, nous considérerons plus particulièrement celle menée en 2003 par Laetitia Nyina-wamwiza à Butare, Rwanda, dont les résultats servirent à la formulation des six régimes expérimentaux de notre expérience (tableaux 1.15. et 1.18.). Nous la détaillerons en introduction de la partie suivante et nous y listerons les objectifs et hypothèses de notre recherche.

Deuxième partie: matériel et méthodes

1. Rappel des objectifs de l'étude

Cette étude s'intègre dans un programme de recherche doctorale, mené par Laetitia Nyina-wamwiza, ayant pour objectif de déterminer la capacité de substitution de la farine de poisson par des matières premières d'origine végétale dans l'alimentation de *Clarias gariepinus*, et d'évaluer les effets de cette substitution sur les performances de croissance et de reproduction de cette espèce. Au cours de cette expérience, 6 régimes expérimentaux isoprotéiques (environ 38 % de protéines brutes) et isoénergétiques (environ 19 KJ g⁻¹ d'aliment) sont formulés et testés en triplicat à partir de sous-produits agro-alimentaires disponibles au Rwanda, les tourteaux de tournesol et d'arachide et la farine de haricot, respectivement, en connaissant leur composition bromatologique ainsi que les exigences nutritionnelles globales de *C. gariepinus*.

Les sous-produits utilisés sont choisis en fonction des résultats obtenus lors de la première expérience de sélection de sous-produits (E1) réalisée de juin à août 2003 par Laetitia Nyina-wamwiza, qui testa 4 sous-produits végétaux (SPV : tourteaux de tournesol, d'arachide, de soja et farine de haricot) dans l'alimentation de juvéniles de *Clarias gariepinus* en grossissement, pour substituer partiellement les protéines animales dans un aliment contrôle (C) formulé à base de 50 % de farine de poisson (tableau 1.18.). Elle compara les régimes de substitution (SPV) sur base du taux de substitution de la farine de poisson fixé à 50 %. Les performances zootechniques et nutritionnelles les plus médiocres furent obtenues avec le régime contenant du tourteau de tournesol. Or, ce sous-produit issu de l'extraction de l'huile des graines de tournesol représente un ingrédient qu'il serait intéressant de valoriser au Rwanda dans l'alimentation d'animaux d'élevages, entre autres en pisciculture. Les raisons de la mauvaise utilisation de ce tourteau peuvent être dues à de multiples cause : indigestibilité du tourteau non décortiqué due à la teneur élevée en fibres, mauvais profil en acides aminés, faible prise alimentaire, etc.

Dans la formulation des 6 régimes expérimentés durant notre mémoire, le régime à base de tournesol de l'expérience E1 sert de régime contrôle auquel sont comparés les 5 autres régimes. Ces 6 régimes contiennent du tournesol, ce sous-produit étant celui que nous cherchons à valoriser de part sa disponibilité et son coût d'achat bon marché, ayant subi ou non un prétraitement (décorticage, trempage) et étant complémenté de diverses manières par les autres SPV (tourteau d'arachide et farine de haricot) de l'expérience E3. Ces SPV donnèrent pour leur part des résultats tout à fait satisfaisants par rapport à l'aliment C. Les performances zootechniques (gain de poids individuel, gain de biomasse, coefficient de condition K, taux de croissance spécifique, efficacité alimentaire) biochimiques et d'efficacité alimentaire de ces différents régimes expérimentaux sont évaluées. Les analyses biochimiques effectuées sur les carcasses des poissons permettent d'évaluer la qualité de la chair des poissons. Les rétentions en nutriments sont également mesurées. Nous tentons enfin d'identifier et de comparer les causes responsables de la plus ou moins bonne utilisation de ces régimes (facteurs antinutritionnels, traitement préalable des ingrédients, etc.).

Cette expérience en conditions contrôlées servira de base à la mise au point d'aliments qui seront testés ultérieurement sur des poissons-chats africains élevés en étangs de grossissement à la station de Rwasave, Butare, le but ultime ce travail consistant à remplacer si pas totalement, au moins en grande partie, la farine de poissons par des substituts agro-industriels dans une formulation alimentaire qui supporterait des croissances et une utilisation alimentaire similaire à celle basée sur la farine de poissons.

2. Matériel et méthodes

2.1. Infrastructures expérimentales

L'expérience s'est déroulée en bassins faisant partie d'un même circuit fermé, installé à la Station Piscicole de Rwasave (SPIR) de l'Université Nationale du Rwanda (UNR) (photo 1.). L'eau de la rivière Rwasave est captée par la SPIR, elle est décantée dans des citernes, puis acheminée dans le circuit d'élevage constitué d'un système de filtration biologique et mécanique en trois compartiments composés successivement de brosses puis de blochets en plastique, de pierres de lave et de gravier et enfin de mousse (matelas). Les blochets et les pierres de lave permettent le développement des bactéries nitrifiantes par augmentation de la surface de colonisation bactérienne tandis que les brosses, le gravier ainsi que la mousse retiennent les matières en suspension. L'eau est alors refoulée et distribuée dans les bassins, grâce à deux pompes submersibles de marque SND "TN". Dans le système de filtration, l'eau atteint un volume total de 4480 litres, pour un volume d'élevage de 1800 litres. Dans le but de comparer six régimes en triplicat, 18 bassins ont été utilisés, chacun étant alimenté individuellement en eau et en air. Le volume utile par bassin a été fixé à 100L d'eau, avec un débit de 2L min^{-1} , soit un taux de renouvellement d'au moins une fois par heure.

2.2. Les poissons

Les poissons ont été obtenus par reproduction artificielle de géniteurs de *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) élevés depuis le stade d'œufs à la SPIR. L'éclosion a lieu dans des bassins en plastiques (Fastank), qui fonctionnent par la suite comme bacs de premier élevage, dans lesquels les jeunes frais ont été nourris avec du zooplancton pêché dans les étangs. Après environ deux semaines, les alevins maintenus dans les fastank ont été transférés dans les étangs d'alevinage fertilisés organiquement, où ils recevaient du son de riz comme supplément alimentaire.

A la taille de 3-4 g, les alevins ont été pêchés et stockés dans les fastank, pour l'habituation à l'aliment artificiel. Durant cette période (6-7 semaines), les poissons ont été nourris à satiété, sur base de deux repas par jour avec de l'aliment commercial (Coppens) ainsi qu'avec un mélange des granulés restant des 6 régimes expérimentaux de l'expérience de l'année 2003, jusqu'à un poids moyen de 5–10 g. De ce lot, 540 poissons de poids semblables ont été transférés dans les bassins expérimentaux pour l'étude proprement dite (photo 2.).

2.3. Conditions expérimentales

L'expérience a duré 61 jours. Les 540 juvéniles de *Clarias gariepinus*, calibrés de manière à avoir un poids initial relativement similaire ($7.49 \pm 0,089\text{g}$) ont été répartis aléatoirement dans les 18 bassins, soit au nombre de 30 poissons par bassin. Les caractéristiques des mises en charges sont mentionnées dans le tableau 2.1. En plus des 540 poissons expérimentaux, 30 autres poissons ont été prélevés au hasard, pesés et mesurés un à un et conservés au congélateur (-20°C) afin de réaliser les analyses biochimiques ultérieures (protéines, lipides, humidité et cendres sur les carcasses).

Tableau 2.1. Caractéristiques des mises en charges dans les différents bassins d'élevage. Biom. = Biomasse totale par bassin, PM = poids moyen des juvéniles.

Régime	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	3c	4a	4b	4c	5a	5b	5c	6a	6b	6c
Bassin	1	7	13	2	8	14	3	9	15	4	10	16	5	11	17	6	12	18
Biom.(g)	223.4	227.7	227.0	224.7	225.4	225.9	227.9	225.7	226.7	221.6	226.4	226.6	225.2	226.3	217.2	223.1	224.6	222.3
PM (g)	7.45	7.59	7.57	7.49	7.51	7.53	7.60	7.52	7.56	7.39	7.39	7.55	7.51	7.54	7.24	7.45	7.49	7.41

La température de l'eau dans les bassins d'élevage a varié entre 19,55 et 26,05°C, avec une moyenne de $22,73 \pm 1,48^\circ\text{C}$. La concentration en oxygène dissous, mesurée quotidiennement à l'aide d'un oxymètre WTW, modèle OXI 325, a varié entre 2,27 et 7,83 mg.L⁻¹ (moyenne = $5,73 \pm 1,37$ mg.L⁻¹), et le pH de 6,28 à 8,74 (moyenne = $6,90 \pm 0,31$).

Deux fois par semaine, les concentrations en matières azotées (ammoniaque, nitrites et nitrates) ont été contrôlées sur base des prélèvements d'eau à l'entrée des bassins d'élevage ainsi qu'à leur sortie. Les valeurs minimales, maximales et moyennes à la sortie du filtre (entrée des bassins expérimentaux) ont varié de 0,000 à 2,450 mg.L⁻¹ (moyenne = $0,417 \pm 0,567$ mg.L⁻¹) pour l'ammoniaque, entre 0,002 et 0,134 mg.L⁻¹ (moyenne = $0,051 \pm 0,049$ mg.L⁻¹) pour le nitrites et celles des nitrates de 0,150 à 1,600 mg.L⁻¹ (moyenne = $0,614 \pm 0,402$ mg.L⁻¹). A l'entrée du filtre (sortie des bassins expérimentaux), les concentrations en ammoniaque ont varié entre 0,210 et 3,990 mg.L⁻¹ (moyenne = $1,202 \pm 1,090$ mg.L⁻¹), celles des nitrites de 0,003 à 0,200 mg.L⁻¹ (moyenne = $0,081 \pm 0,065$ mg.L⁻¹) et celles des nitrates entre 0,094 et 1,980 mg.L⁻¹ (moyenne = $0,813 \pm 0,595$ mg.L⁻¹).

Afin de maintenir un certain niveau de propreté dans le circuit d'élevage, et d'éviter le développement de bactéries sur les restes alimentaires et les fèces, chaque matin, une heure avant le premier nourrissage, le fond des bassins d'élevage était siphonné. Les bords étaient nettoyés et bien rincés de manière à limiter le dépôt de toute matière grasse laissée par l'aliment et une fois par mois, les filtres mécaniques étaient nettoyés.

2.4. Régimes expérimentaux et mode d'alimentation

2.4.1. Ingrédients expérimentaux

Une enquête a été menée durant l'année académique 2002-2003 auprès de petites unités locales de production agro-alimentaire. Les ingrédients utilisés et analysés (protéines et énergie) au laboratoire de la SPIR dans le cadre de cette expérience ont été sélectionnés sur base des résultats obtenus par Laetitia Nyina-wamwiza durant son expérience réalisée de juin à août 2003. La composition des ingrédients utilisés est reprise dans le tableau 2.2.

A part la farine de poisson fournie par la société néerlandaise Coppens International, tous les ingrédients ont été récoltés au Rwanda. Les haricots ont été achetés au marché de Butare. Le sang a été collecté à l'abattoir de Nyabugogo à Kigali. Les viscères de poulet ont été collectés au centre des jeunes sourds-muets et dans un élevage de poulets de Butare, ainsi qu'à l'hotel Credo de Butare. Les tourteaux d'arachide et de tournesol ainsi que l'huile de tournesol ont été fournis par l'unité d'extraction d'huile de l'association Profemme-Benurugwiro installée à Kibungo. Les tourteaux d'extraction sont obtenus après une simple pression (sans solvant) des graines, celles-ci étant ou n'étant pas préalablement décortiquées dans le cas du tournesol.

Les compléments alimentaires que sont les prémix minéraux et vitaminés, le carboxyméthyl cellulose utilisé comme liant, l'éthoxyquine comme antioxydant et l'huile de foie de morue ont été fournis par la société SIGMA-ALDRICH.

Tableau 2.2. Composition des ingrédients utilisés dans la formulation des différents régimes testés chez les juvéniles de *Clarias gariepinus* (% du poids frais initial).

Ingrédients	Matière sèche	Protéines	Lipides	Cendres
Farine de poisson	92,1	65,2	15,2	11,6
Sang d'abattoir	90,9	71,9	1,71	6,37
Viscères de poulet	90,9	35,0	13,0	6,32
Farine de haricot	99,5	23,1	7,09	3,54
T. d'arachide	89,4	47,6	30,9	2,67
TTNDNT	91,8	26,9	6,95	5,01
TTNDT	93,4	23,9	10,4	5,39
TTD	93,4	33,0	6,00	6,42

TTNDNT : Tourteau de Tournesol Non Décortiqué Non Trempé

TTNDT : Tourteau de Tournesol Non Décortiqué Trempé

TTD : Tourteau de Tournesol Décortiqué

Avant leur incorporation dans les mélanges alimentaires respectifs, tous les ingrédients locaux ont été soumis à un pré-traitement thermique (cuisson) un à un. Ils ont ensuite été séchés au soleil, puis moulus à l'aide d'un moulin à manioc (modèle Hassia SM 988) jusqu'à l'obtention d'une farine très fine.

2.4.2. Formulation des régimes expérimentaux

Six régimes isoprotéiques et isoénergétiques ont été constitués et comparés avec le régime R1 servant de témoin, ce régime correspondant au régime de l'expérience de 2003 de Laetitia Nyina-wamwiza dans lequel la farine de poissons y était remplacée à 50 % par du tourteau de tournesol non décortiqué. Nous cherchons dans le cadre de cette expérience à valoriser ce tourteau, et pour ce faire nous lui avons fait subir ou non différents prétraitements avant de l'ajouter aux différents régimes expérimentaux dans des proportions différentes. Le tourteau de tournesol non décortiqué du régime R2 fut trempé avant d'y être incorporé, ceci afin d'en extraire si possible certains des facteurs antinutritionnels qu'il contient. Dans le régime R3, il fut combiné à de la farine de haricot de manière à suppléer sa déficience en lysine. Dans le régime R4, 50 % de la farine de poissons présente dans les trois premiers régimes fut remplacée par du tourteau de tournesol décortiqué et de la farine de haricot, afin de déterminer si le décorticage de ce tourteau, suppléé par la farine de haricot, permettait de diminuer d'avantage la quantité de farine de poissons de l'aliment tout en conservant un aliment suffisamment efficace. Dans les régimes 5 et 6, la farine de poissons fut totalement substituée par des sous-produits végétaux, le tourteau de tournesol y étant soit décortiqué soit trempé, et toujours suppléé par de la farine de haricot. Le tourteau d'arachide, de par sa teneur en protéines élevée, permis de maintenir le niveau protéique de ces deux derniers aliments à environ 38 %.

Les ingrédients bruts, tels que présentés dans le tableau 2.2., ont été pesés et mélangés à l'aide d'un mixeur de marque Kenwood, en proportions décroissantes de leur teneur en matière sèche, jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène, à laquelle étaient ajoutées les

proportions d'huile de poisson et de tournesol, d'éthoxiquine et de carboxyméthyl-cellulose. De l'eau était ensuite ajoutée à raison de 600 ml kg⁻¹ de matière sèche, de manière à obtenir une pâte destinée à être pressée dans un petit hachoir à viande qui après compactage produit des spaghettis de 2 mm de diamètre (photos 3. et 4.).

Les spaghettis étaient séchés au soleil, puis transformés en granulés avant d'être pesés et distribués aux poissons. La composition des régimes expérimentaux en matières premières utilisées est détaillée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2.3. Ingrédients et formulation des cinq régimes expérimentaux (R = Régime, valeur exprimées en g.Kg⁻¹ de matière première). Le régime R1 sert de contrôle.

Ingrédients	Régimes					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Farine de poisson	257	257	257	149	0	0
Sang d'abattoir	89	89	89	99	99	99
Viscères de poulet	99	99	99	99	99	99
Tourteau de tournesol	436	436	248	426	218	297
Tourteau d'arachide	0	0	0	0	396	317
Farine de haricot	0	0	198	139	99	99
Huile de poisson	25	25	25	20	20	20
Huile de tournesol	25	25	25	20	20	20
Prémix minéraux	30	30	25	20	20	20
Prémix vitaminés	30	30	25	20	20	20
Carboxyméthylcellulose	10	10	10	10	10	10
Protéines brutes (%)	38,89	38,89	38,37	37,78	37,76	37,88
Energie brute (MJ.Kg⁻¹)	18,98	18,98	18,72	20,85	19,06	20,87

R1 : Tourteau de tournesol non décortiqué.

R2 : Tourteau de tournesol non décortiqué trempé.

R3 : Tourteau de tournesol non décortiqué + farine de haricot.

R4 : Tourteau de tournesol décortiqué + farine de haricot.

R5 : Tourteau de tournesol non décortiqué trempé + farine de haricot + tourteau d'arachide.

R6 : Tourteau de tournesol décortiqué + farine de haricot + tourteau d'arachide.

2.4.3. Mode d'alimentation

Les aliments étaient répartis selon le régime et le numéro du bassin, dans des pots en plastique. Le repas était distribué manuellement *ad libitum*. Le nombre de repas quotidiens était fixé à deux, 7 jours sur 7. Le premier repas était distribué à 09h00 et le second à 16h00. A chaque nourrissage la ration était distribuée par poignée en observant la prise alimentaire à satiété : les poissons étaient considérés à satiété quand ils ne montraient plus une attention vers les granulés. Chaque soir l'ingéré de la journée était calculé par différence de poids des pots de nourrissage avant et après les deux repas quotidiens. Cette différence était enregistrée quotidiennement sur les fiches selon les régimes et les bassins correspondants. Ceci nous a

permis de calculer l'ingéré total à la fin de l'expérimentation et l'efficacité alimentaire pour les différents régimes.

2.5. Contrôle des paramètres zootechniques

Chaque jour les bassins étaient nettoyés, avant nourrissage, et les poissons morts éventuels étaient retirés des bassins et pesés. Leur poids était noté afin d'en garder les traces pour le calcul de l'efficacité alimentaire.

$$\text{Survie (\%)} = 100 * \text{NPf} * \text{Npi}^{-1}$$

NPf = nombre de poissons à la fin de l'expérience

NPi = nombre de poissons au début de l'expérience

A la fin de l'expérience, les poissons étaient pesés et mesurés individuellement après avoir été placés dans un seau contenant de l'anesthésiant (3 aminobenzoic acid ethyl) en proportion de 1,2g dans 10L d'eau. Ces données individuelles ont permis de calculer le coefficient de condition (K) par la formule :

$$K = P/L^3$$

P = poids du poisson (g)

L = longueur totale du poisson (cm)

Pour chaque bassin, 6 poissons ont été prélevés au hasard, puis gardés au congélateur en vue des analyses biochimiques (protéines brutes, lipides totaux, humidité et cendres) des carcasses. La biomasse totale finale fut calculée pour chaque bassin comme lors de la mise en charge.

De ces différentes mesures de croissance, d'autres paramètres zootechniques ont été calculés à savoir: le taux de croissance spécifique ou taux instantané de croissance (Specific Growth Rate, SGR), le gain de poids, le gain de biomasse, la biomasse des morts selon les formules ci-dessous :

$$\text{SGR (en \% j}^{-1}\text{)} = 100 * (\ln \text{Pfi} - \ln \text{Pi}) * t^{-1}$$

t = durée de l'expérience

Pfi = poids final des poissons (g)

Pi = poids initial des poissons (g)

$$\text{Gain de poids (en \% PIM)} = 100 * (\text{Pfi} - \text{Pi}) / \text{Pi}$$

PIM = poids initial moyen

$$\text{Gain de biomasse (en \% Bi)} = 100 * (\text{Bfi} - (\text{Bi} + \text{Bm})) / \text{Bi}$$

Bf = Biomasse finale des poissons (g)

Bi = Biomasse initiale (g)

Bm = Biomasse des morts (g)

2.6. Analyses biochimiques des aliments et des poissons

Les analyses biochimiques (protéines, lipides, humidité et cendres) ont été effectuées sur les 6 aliments expérimentaux, sur les carcasses homogénéisées de 6 poissons entiers prélevés aléatoirement en fin d'expérience dans chacun des 18 bassins expérimentaux, soit 18 poissons par régime, et sur les carcasses homogénéisées de 6 poissons entiers prélevés aléatoirement en début d'expérience. Les poissons ainsi que les aliments étaient gardés au congélateur (-20°C) avant les différentes analyses.

2.6.1. Extraction et détermination de la teneur en lipides totaux

Les lipides ont été extraits des échantillons au moyen d'un mélange de méthanol, de chloroforme et d'eau distillée / KCL 0,88 % selon la méthode de Bligh et Dyer (1959) (annexe 1). Il est important de noter que 100 gr d'homogénats de carcasses de poissons entiers contiennent 70 % d'eau. Il faut donc en tenir compte lors de l'ajout de l'eau distillée / KCl 0,088 %.

2.6.2. Dosage des protéines

Le pourcentage en protéines brutes des poissons et des aliments a été calculé à partir de la teneur en azote déterminée selon la méthode Kjeldahl (Nessler Method) (annexe 2). Le principe de cette méthode est d'utiliser de l'acide sulfurique pour déshydrater et carboniser l'échantillon. Cette carbonisation assure un environnement réducteur qui permet de convertir l'azote organique en ammoniac. L'ajout d'eau oxygénée permet le blanchiment de l'échantillon. Une fois le pourcentage en azote Kjeldahl total des échantillons connu, il convient de multiplier la valeur obtenue par un facteur 6,25 généralement accepté comme représentatif de la teneur moyenne en azote des protéines.

2.6.3. Dosage de la matière sèche et du taux d'humidité brute

Les pourcentages d'humidité et de matière sèche des poissons et des aliments ont été déterminés après séchage durant 24 heures des échantillons de carcasses de poissons broyés et d'aliments concassés à l'étuve (annexe 3).

2.6.4. Détermination du taux des cendres

Après incinération des échantillons à 550°C pendant 12 heures, les résidus de la combustion constituent les cendres composées des résidus minéraux incombustibles et d'éléments métalliques qui ne se sont pas volatilisés (annexe 4).

2.6.5. Calcul de la teneur en glucides

Les glucides ont été calculés sur base de 100% de matière fraîche à laquelle on soustrait les concentrations en protéines, en lipides, en cendres (exprimées en % de matière humide) et le taux d'humidité.

2.6.6. Formules utilisées pour évaluer l'efficacité des aliments

L'Efficience Alimentaire ou Efficacité de Conversion Alimentaire (ECA ou feed efficiency, FE) a été calculée pour évaluer le gain de poids obtenu par unité de poids de nourriture ingérée (l'ingéré correspond à la quantité d'aliments distribuée, les poissons étant nourris à satiété).

$$ECA = ((Bf + Bm) - Bi) * I^{-1}$$

Bi = Biomasse initiale (g)

Bf = Biomasse finale (g)

Bm = Biomasse des morts (g)

I = quantité d'aliments Ingérée (g)

Le Coefficient d'Efficacité Protéique (CEP ou Protein Efficiency Ratio, PER) nous a permis d'évaluer le gain de poids des poissons par unité de protéines consommées. Les résultats obtenus nous permettent de déterminer si la source protéique de l'aliment répond correctement aux exigences de l'espèce de poisson étudiée.

$$PER = ((Bf + Bm) - Bi) * RdPc^{-1}$$

RdPc = Ration protéique consommée (g)

La Rétention Protéique Apparente (RPA ou Protein Apparent Retention, PAR) fut calculée selon la formule ci-dessous :

$$RPA (\%) = 100 * (Prf - Pri) * RdPc^{-1}$$

Pri = contenu en protéines (g) dans la carcasse en début d'expérience

Prf = contenu en protéines (g) dans la carcasse en fin d'expérience

La Rétention Énergétique Apparente (REA ou Energy Apparent Retention, EAR) fut également calculée selon la formule ci-dessous :

$$REA (\%) = 100 * (Enf - Eni) * RdEc^{-1}$$

Eni = contenu énergétique dans la carcasse en début d'expérience

Enf = contenu énergétique dans la carcasse en fin d'expérience

RdEc = ration énergétique consommée durant l'expérience

2.7. Dosages des facteurs anti-nutritionnels

2.7.1. Dosage des acides phytiques

Les teneurs en phytates des ingrédients et des aliments ont été déterminées par spectrophotométrie selon la méthode de March *et al.* (1995), décrite à l'annexe 5, et adaptée pour les dosages à effectuer dans ce mémoire. Cette technique de dosage des phytates consiste à les isoler, après les avoir extraits à l'acide sulfurique, sous forme de phytate de fer (III) et à

les remettre ensuite en solution en ajoutant à ce sel de fer (III) solide de l'hydroxyde de sodium pour le faire reprecipiter sous forme d'oxyde de fer (III) hydraté.

2.7.2. Dosage des facteurs antitrypsiques

Le principe du dosage des facteurs antitrypsiques se base sur la libération de la p-nitroaniline à partir du BAPNA, celle-ci étant immédiatement suivie par une augmentation de l'extinction à 407 nm. Le protocole de dosage, décrit à l'annexe 6, a été établi d'après la méthode de Bergmeyer (1965), adaptée pour les dosages à effectuer dans ce mémoire (annexe 6).

2.7.3. Dosage des tannins

Le dosage des tannins présents dans les sous-produits végétaux s'effectue par spectrophotométrie après leur extraction au moyen de solvants organiques en milieu acide et la réaction de ces polyphénols avec du sulfate d'ammonium de fer (III). Le protocole de dosage, décrit à l'annexe 7, a été modifié d'après Aganda et Mosase (2001). Les teneurs en tannins sont exprimées en grammes d'équivalents catéchine par kg d'ingrédient. Les raisons pour lesquelles ne furent pas dosés les teneurs en tannins de la farine de haricot et des aliments y sont également expliquées.

2.8. Traitements statistiques des données

L'analyse statistique a été effectuée selon les méthodes standard de l'analyse de variance à un critère (ANOVA I) en utilisant les programmes informatiques des logiciels Statistica et SAS, après vérification préalable de l'homogénéité des variances et de la normalité des données à analyser. Des seuils de probabilité significatifs de 5 et 1 % ont été utilisés. Les paramètres analysés sont la survie, le gain de poids, le taux de croissance spécifique (SGR), l'ingéré, l'efficacité alimentaire, les rétentions protéique et énergétique et l'efficacité protéique. Lorsque l'analyse de variance conduisait au rejet de l'égalité des moyennes, autrement dit lorsque l'ANOVA I se révélait significative, nous avons cherché à dégager les moyennes qui différaient significativement entre elles. Pour résoudre ce problème, la comparaison multiple que nous avons utilisée se base sur la notion des contrastes afin de comparer les moyennes deux à deux. Le test de comparaison des moyennes choisi fut celui de Scheffé. Lorsque ce dernier ne nous permettait pas d'observer de différence significative entre les régimes, le test LSD de Fisher, ou test de la plus petite différence significative entre les moyennes, fut utilisé. Les courbes d'évolution et les histogrammes ont été réalisés grâce aux procédures graphiques du logiciel Excel.

Troisième partie:

résultats

1. Données zootechniques

Les valeurs mentionnées dans le tableau 1.1. représentent la moyenne des trois observations (bassins) réalisées pour chaque régime expérimental. Les données brutes sont reprises dans les annexes. Ce tableau synthétique permet au lecteur d'avoir un aperçu détaillé et global des résultats obtenus pour chacun des six régimes. Néanmoins, pour plus de clarté et pour une meilleure visualisation des différences que l'on observe entre ces 6 régimes, les résultats d'un certain nombre de ces paramètres zootechniques sont illustrés graphiquement et commentés.

Tableau 1.1 : Valeurs des principaux paramètres zootechniques

Paramètres	Régimes					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Nbre initial	30	30	30	30	30	30
Nbre final	30	30	30	30	30	29,3
Survie (%)	100	100	100	100	100	97,8 ± 1,92
Pds moy in (g)	7,54 ± 0,08	7,51 ± 0,02	7,56 ± 0,04	7,44 ± 0,09	7,43 ± 0,03	7,45 ± 0,04
Pds moy fin (g)	42,8 ± 13,1	42,1 ± 9,71	53,3 ± 11,8	38,7 ± 2,33	26,0 ± 4,42	35,6 ± 5,14
Gain de pds (%)	468 ± 173	460 ± 129	604 ± 154	419 ± 25,9	250 ± 63,7	377 ± 71,0
K	0,76 ± 0,02	0,79 ± 0,01	0,78 ± 0,01	0,78 ± 0,02	0,76 ± 0,03	0,79 ± 0,68
Biom initiale (g)	226 ± 2,33	225 ± 0,62	227 ± 1,13	225 ± 2,87	223 ± 4,93	223 ± 1,17
Biom finale (g)	1279 ± 393	1239 ± 283	1572 ± 358	1127 ± 66,0	764 ± 136	982 ± 148
B. des morts (g)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,70 ± 7,55
Gain de B. (%)	465 ± 173	450 ± 125	593 ± 156	401 ± 23,6	243 ± 64,0	336 ± 64,8
SGR (%·j ⁻¹)	2,80 ± 0,50	2,79 ± 0,39	3,17 ± 0,38	2,70 ± 0,08	2,04 ± 0,31	2,55 ± 0,26
CV _{pds} final (%)	39,1 ± 3,82	44,9 ± 4,71	40,3 ± 0,21	38,6 ± 4,86	39,71 ± 1,71	46,6 ± 7,53
Ingéré total (g)	942 ± 228	925 ± 177	1141 ± 177	864 ± 36,5	725 ± 78,7	872,6 ± 88,9
ECA	1,09 ± 0,16	1,08 ± 0,12	1,16 ± 0,14	1,04 ± 0,03	0,74 ± 0,12	0,87 ± 0,10
TCA	0,93 ± 0,15	0,93 ± 0,10	0,87 ± 0,11	0,96 ± 0,03	1,38 ± 0,25	1,16 ± 0,14

R1 : Tourteau de tournesol non décortiqué.

R2 : Tourteau de tournesol non décortiqué trempé.

R3 : Tourteau de tournesol non décortiqué + farine de haricot.

R4 : Tourteau de tournesol décortiqué + farine de haricot.

R5 : Tourteau de tournesol non décortiqué trempé + farine de haricot + tourteau d'arachide.

R6 : Tourteau de tournesol décortiqué + farine de haricot + tourteau d'arachide.

1.1. Survie et état général des poissons

La survie, telle qu'indiquée dans le tableau 1.1., représente le taux de survie réel calculé à partir des nombres finaux et initiaux de poissons. Elle est de 100 % pour les bassins des 5 premiers régimes expérimentaux, et de 97,78 ± 1,92 % pour le sixième régime. La faible mortalité observée pour le régime 6 est due au seul comportement cannibale des poissons. Au total, sur les 540 poissons, 2 furent victimes de cannibalisme. Leur forte homogénéité de taille a probablement permis de diminuer l'impact qu'aurait pu provoquer ce comportement. L'état général des poissons en fin d'expérience était tout à fait satisfaisant et aucune infection ou pathologie ne les affecta pendant la durée de l'expérience.

1.2. Prise alimentaire

La quantité d'aliments consommés durant la période expérimentale varie entre $725,21 \pm 78,75$ g pour les poissons nourris avec le régime 5 et $1141,13 \pm 176,57$ g pour ceux nourris avec le régime 3 (figure 1.), soit une moyenne variant entre 24,17 et 38,04 g d'aliment par poisson. L'analyse statistique ANOVA 1 ne montre pas de différences significatives entre les quantités de nourriture ingérée par régime ($P > 0,05$). Le test LSD de Fisher permet cependant d'observer une différence significative entre l'ingéré du régime 3 et celui des régimes 4, 5 et 6, respectivement.

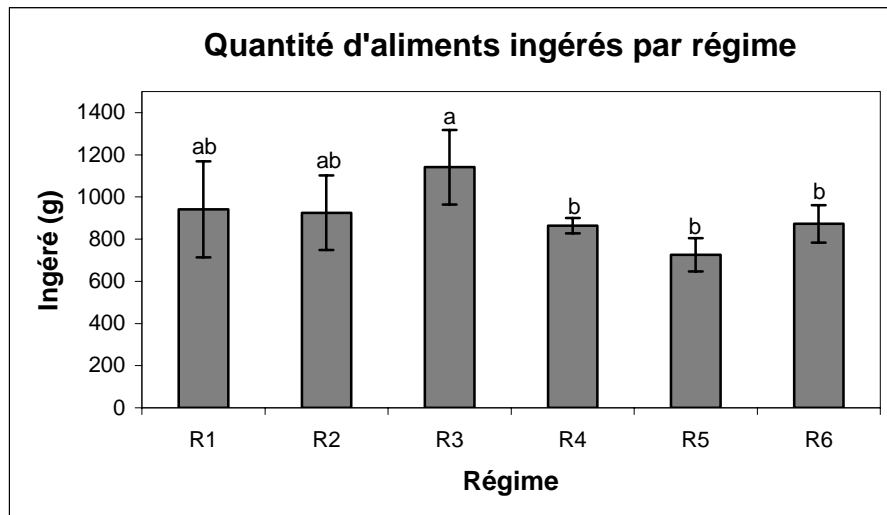


Figure 1. : Quantité d'aliments ingérés selon le régime chez les juvéniles de *C. gariepinus*. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test LSD entre les différents régimes.

D'une manière générale, la quantité moyenne d'aliments distribués par bassin pour l'ensemble des régimes est passée de $9,58 \pm 0,84$ g durant la première semaine de l'expérience à $23,59 \pm 4,56$ g durant les sept derniers jours. On peut observer graphiquement une grande variabilité journalière de l'ingéré pour chacun des six régimes (figure 2.). On remarque également que la différence d'ingéré journalier entre les régimes s'observe d'autant plus que l'expérience avance dans le temps, et ce particulièrement pour les régimes 3 et 5.

A partir des biomasses moyennes initiales et finales, ainsi que de celles mesurées après un mois d'expérience (le 25 mai 2004), et des quantités moyennes d'aliments ingérés par jour pour chacun des six régimes (moyennes journalières calculées à partir de l'ingéré total de la première et de la dernière semaine expérimentale, et de l'ingéré observé 3 jours avant et après la pesée effectuée un mois après le début de l'expérience), il nous est possible de calculer la quantité d'aliment à distribuer par régime en % du poids frais moyen des poissons nourris avec ces différents régimes (figure 3.). Celle-ci diminue de moitié au cours du premier mois, excepté pour le régime 5. Si l'on regarde le poids moyen des poissons nourris avec le régime 5 à la fin du premier mois d'expérience, on observe que celui-ci est inférieur à celui des poissons nourris avec les autres régimes. Il en va de même en fin d'expérience. On comprend dès lors que les poissons nourris avec ce régime 5 consomment plus d'aliments, proportionnellement à leur poids. Les poids moyens des poissons sont repris dans le tableau ci-dessous.

Régime	Poids moyen initial	Poids moyen à 1 mois	Poids moyen final
R1	7,54 ± 0,08	24,9 ± 1,24	42,8 ± 13,1
R2	7,51 ± 0,02	25,2 ± 1,36	42,1 ± 9,71
R3	7,56 ± 0,04	24,7 ± 0,78	53,3 ± 11,8
R4	7,44 ± 0,09	25,0 ± 0,48	38,6 ± 2,33
R5	7,43 ± 0,17	15,4 ± 0,78	26,0 ± 4,42
R6	7,45 ± 0,04	20,5 ± 1,12	35,6 ± 5,14

Les températures moyennes journalières mesurées lors de la première et de la dernière semaine et en milieu d'expérience sont de $22,5 \pm 1,99$, $22,8 \pm 0,72$ et $22,2 \pm 1,45$, respectivement. La température moyenne ne variant que de quelques dixièmes de degrés, il conviendra de ne pas en tenir compte lors de la discussion de nos observations.

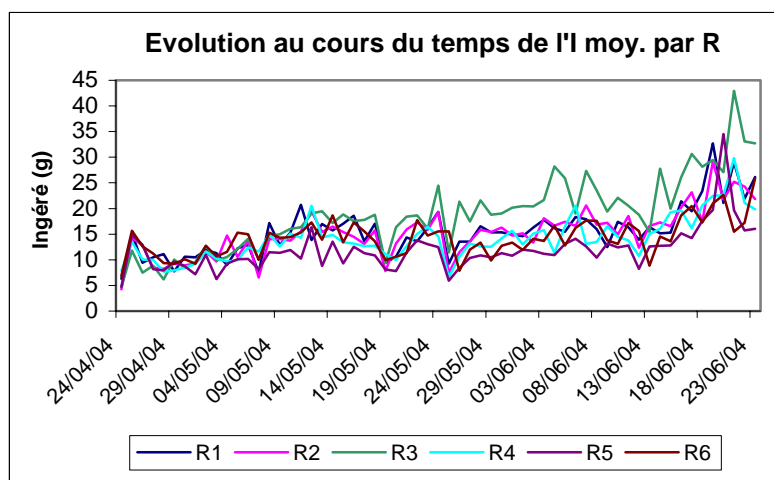


Figure 2. : Evolution de l'ingéré moyen (I moy.) par jour et par régime (R) par les juvéniles de *C. gariepinus*.

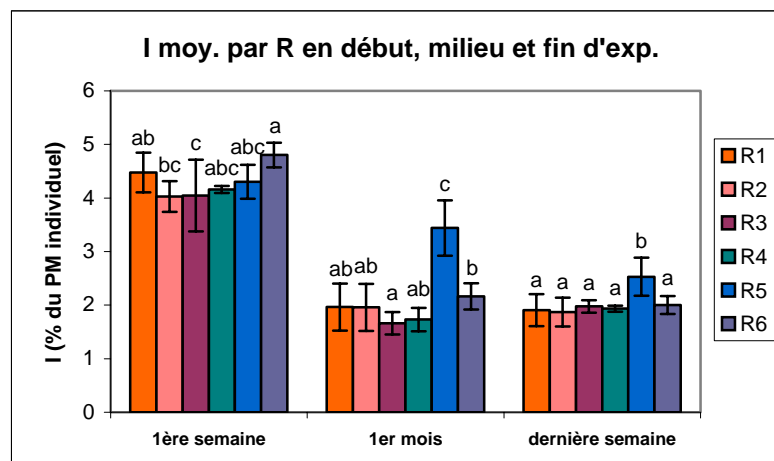


Figure 3. : Ingéré moyen (I moy.) par poisson en début, milieu et fin d'expérience (exp.), exprimée en % du poids moyen individuel (PM individuel) des poissons calculé à partir de la Bi et de la Bf, et de la B mesurée après un mois d'expérience. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test LSD entre les différents R.

1.3. Poids final, gain de poids et taux spécifique de croissance (SGR)

L'analyse statistique ANOVA 1 ($P < 0,05$) démontre une influence des régimes expérimentaux sur le poids moyen final des poissons. Celui-ci varie entre $26,0 \pm 4,43$ pour le régime 5 et $53,3 \pm 11,8$ pour le régime 3. Cependant, le test de comparaison des moyennes de Scheffé ne nous permet pas de distinguer lesquelles de ces moyennes diffèrent les unes des autres. Le test LSD de Fisher nous permet par contre de mettre en évidence l'existence de ces différences significatives entre les 6 régimes expérimentaux (figure 4.).

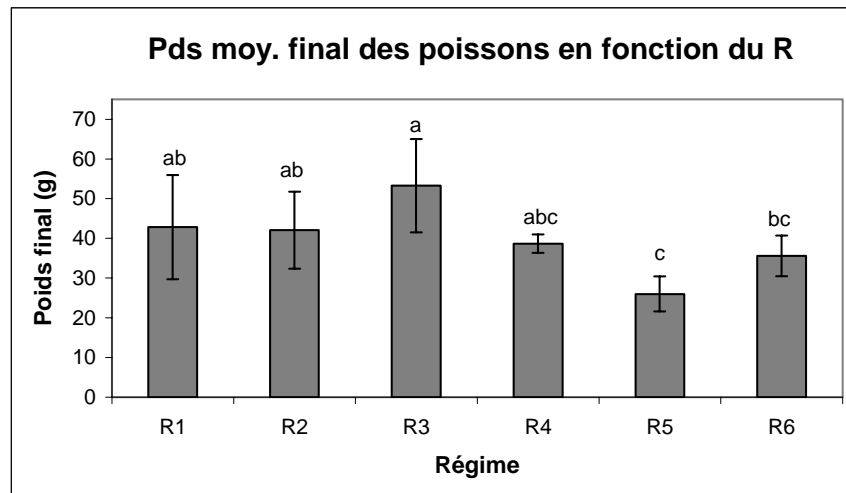


Figure 4. : Influence du régime alimentaire sur le poids moyen final (g) des juvéniles de *C. gariepinus*. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test LSD entre les différents régimes.

Le gain de poids moyen est quant à lui également significativement influencé par le régime alimentaire ($P < 0,05$), variant de $250 \pm 63,7$ % pour le régime 5 à 604 ± 154 % pour le régime 3. Le test de comparaison des moyennes de Scheffé nous permet de mettre en évidence l'existence d'une différence significative entre ces deux régimes (figure 5.).

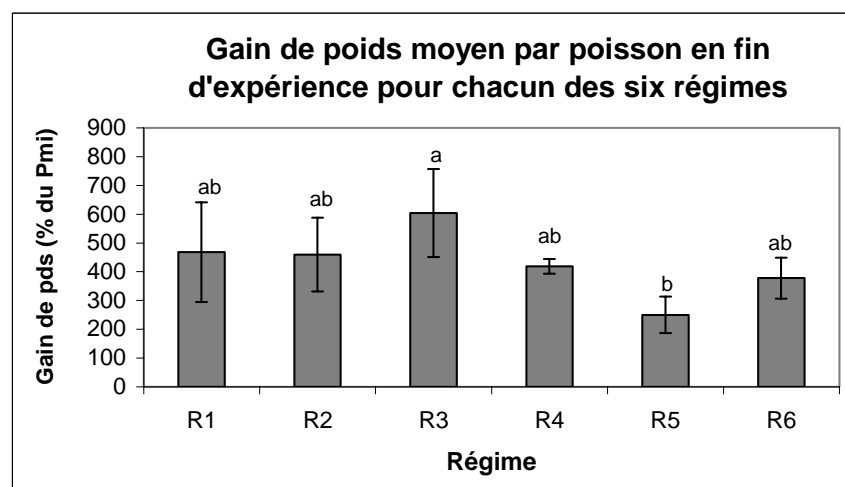


Figure 5. : Influence du régime alimentaire sur le gain de poids (en % du poids moyen initial, Pmi) des juvéniles de *C. gariepinus*. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test de Scheffé entre les différents régimes.

Les taux de croissance spécifiques (SGR) calculés varient entre $2,04 \pm 0,31$ chez les poissons nourris avec le régime 5 et $3,17 \pm 0,38$ chez ceux nourris avec le régime 3 (figure 6.). Ils oscillent autour de 2,70 pour les 4 autres régimes. L'analyse statistique ANOVA I de cet indicateur de croissance permet de mettre en évidence une différence significative entre les 6 régimes expérimentaux testés ($P < 0,05$). La comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Scheffé nous indique que cette différence significative entre les régimes 3 et 5.

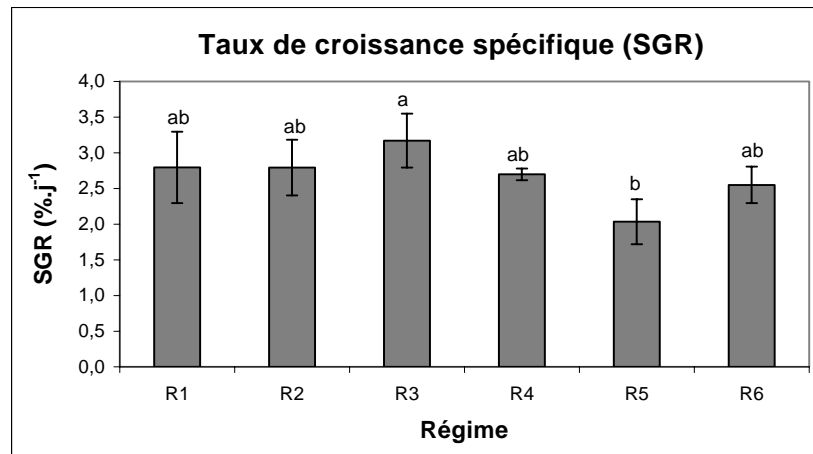


Figure 6. : Effet du régime alimentaire sur le taux de croissance spécifique (SGR) des juvéniles de *C. gariepinus*. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test de Scheffé entre les différents régimes.

1.4. Efficacité de conversion alimentaire (ECA)

Il ressort de l'analyse statistique ANOVA I ($P < 0,01$) que l'efficacité de conversion alimentaire (ECA) est fortement influencée par le type d'aliment distribué aux poissons. Elle est comprise entre $0,74 \pm 0,12$ pour le régime 5 et $1,17 \pm 0,14$ pour le régime 3 (figure 7.). Le test de comparaison des moyennes de Scheffé montre une différence hautement significative entre ces deux régimes. Celle des régimes 1, 2 et 4 avoisine 1,1 ; elle est légèrement inférieure pour le régime 6.

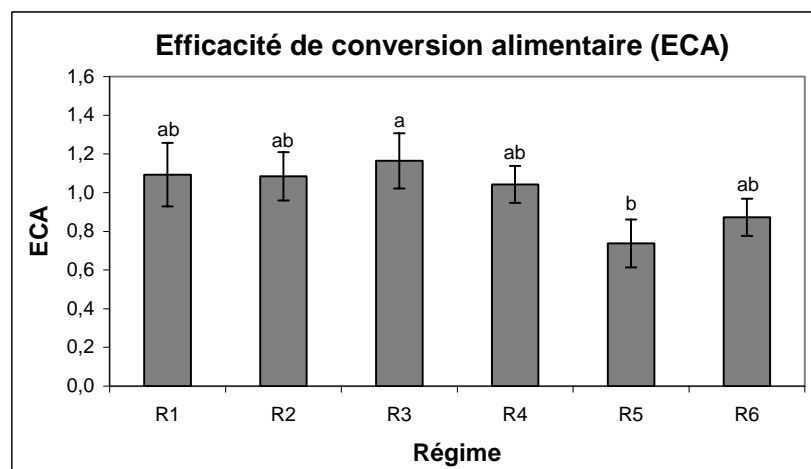


Figure 7. : Efficacité de conversion alimentaire (ECA) chez les juvéniles de *C. gariepinus* en fonction du régime alimentaire. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test de Scheffé entre les différents régimes.

1.5. Facteur de condition (K)

Le facteur de condition (K) nous donne une indication globale de l'état d'embonpoint des poissons. En fonction des régimes testés, celui-ci a varié entre $0,76 \pm 0,03$ pour les poissons nourris avec le régime 5 et $0,79 \pm 0,01$ pour ceux nourris avec le régime 2 (tableau 1.1.1.). L'analyse statistique ANOVA I ($P < 0,05$) ne révèle aucune différence significative entre les différents régimes expérimentaux. Par ailleurs les comparaisons des moyennes selon les tests de Scheffé et de Fisher confirment cette observation, ces derniers ne montrant aucune différence significative entre les 6 régimes.

2. Données biochimiques

2.1. Données biochimiques des régimes expérimentaux

La composition biochimique des régimes expérimentaux a été déterminée après analyse en laboratoire. Celle-ci est reprise à titre d'information dans le tableau 2.1 ci-dessous. Notons cependant que la teneur en protéines de ces régimes est légèrement inférieure (de quelques %) à celle calculée théoriquement (environ 38 %) à partir des pourcentages de protéines des différents ingrédients.

Tableau 2.1 : Teneur en énergie (en MJ kg^{-1}) et composition biochimique (en % du poids sec) des régimes expérimentaux.

Paramètres	Régimes					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Protéines	36,7	35,1	38,4	37,8	35,0	38,1
Lipides	10,3	12,2	8,17	6,32	5,05	8,41
Cendres	12,7	12,5	11,6	8,96	7,81	8,00
ENA	36,4	36,2	38,4	39,7	47,1	38,8
Humidité	4,26	4,36	3,93	7,12	4,80	6,56
Energie	19,0	19,3	18,9	18,3	18,4	19,0

ENA : Extractif Non Azoté

2.2. Données biochimiques des poissons

Les analyses biochimiques des poissons ont été réalisées sur des homogénas de carcasses de poissons entiers. Les valeurs obtenues sont indiquées dans le tableau 2.2.

Tableau 2.2. : Composition biochimique (% du poids frais) des juvéniles de *C. gariepinus* en début (R0) et fin d'expérience (R1 à R6).

Paramètres	Régimes						
	R0	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Protéines	12,01	11,8 ± 0,61	11,1 ± 0,77	11,1 ± 0,37	10,5 ± 0,43	10,5 ± 0,08	10,9 ± 0,49
Lipides	3,87	4,08 ± 0,97	4,50 ± 3,08	5,64 ± 1,41	5,02 ± 1,08	4,87 ± 0,98	5,36 ± 2,04
Cendres	3,10	3,14 ± 0,27	3,14 ± 0,27	2,99 ± 0,89	2,64 ± 0,26	2,55 ± 0,31	2,47 ± 0,72
Humidité	75,6	73,3 ± 1,98	74,5 ± 0,91	74,3 ± 0,58	75,1 ± 0,69	73,6 ± 0,80	74,5 ± 0,91

L'ANOVA 1, le test de Scheffé et le cas échéant le test LSD sont réalisés sur les résultats des analyses biochimiques des poissons nourris avec les 6 régimes expérimentaux, et les résultats obtenus pour les 6 régimes sont comparés entre eux. Cela nous permet de déterminer si les régimes alimentaires ont statistiquement influencé les contenus protéiques et lipidiques des carcasses en fin d'expérience.

Il ressort de l'ANOVA 1 qu'il n'existe aucune différence significative ($P < 0,05$) entre les teneurs en protéines exprimées en % du poids sec des carcasses des poissons récoltés en fin d'expérience et nourris avec les 6 différents régimes expérimentaux. Celles-ci avoisinent $42,6 \pm 3,2$ %, ce qui correspond à une teneur en protéines moyenne, exprimée en % de la matière fraîche, pour l'ensemble des régimes de $10,8 \pm 0,61$ grammes par 100 grammes de poissons. Ce paramètre biochimique ne nous apporte dès lors aucune information intéressante quant à l'influence des différents régimes expérimentaux sur la composition biochimique globale des poissons en fin d'expérience. Tout ce que nous pouvons dire, c'est que, toutes proportions gardées, la teneur en protéines des poissons a diminué au cours des deux mois d'expérience quand on la compare à la teneur en protéines moyenne de ces mêmes poissons en début d'expérience. Quant à la différence significative que l'on observe en appliquant le test statistique LSD, celle-ci peut-être accréditée à la faible variabilité des mesures obtenues lors des analyses.

Aucune des analyses statistiques envisagées dans ce travail ne nous permet de mettre en évidence l'existence d'une différence significative ($P < 0,05$) entre les teneurs en lipides des poissons nourris avec les 6 différents régimes. En observant le tableau 2.2. ci-dessus, on peut cependant remarquer que les poissons semblent être plus gras en fin d'expérience qu'en début d'expérience.

2.3. Critères biochimiques d'utilisation des aliments

A partir des analyses biochimiques et théoriques qui nous ont permises de déterminer les teneurs des aliments en protéines, lipides, glucides, cendres et humidité, et des différents paramètres zootechniques listés et détaillés auparavant, il nous est possible de calculer mathématiquement les différents critères d'utilisation des aliments expérimentaux que sont les taux de rétention protéique et énergétique, ainsi que les coefficients d'efficacité protéique.

Il ressort de l'analyse statistique ANOVA 1 que le coefficient d'efficacité protéique (ou Protein Efficiency Ratio, PER) est significativement influencé ($P < 0,05$) par la composition des aliments expérimentaux dont furent nourris les juvéniles de *C. gariepinus*. Elle varie entre $2,21 \pm 0,37$ pour le régime 5, à base de tourteau de tournesol non décortiqué trempé, supplémenté par de la farine de haricot et du tourteau d'arachide, et $3,23 \pm 0,37$ pour le régime 2 à base de tourteau de tournesol non décortiqué trempé et de farine de poissons (25% de l'aliment). Les résultats obtenus sont exprimés graphiquement sous forme d'histogramme à la figure 8. Ces différences significatives entre les 6 régimes sont mises en évidence via le test de la plus petite différence significative de Fisher.

Le taux de rétention protéique apparent (RPA) est influencé de façon hautement significative ($P < 0,01$) par la composition des régimes alimentaires expérimentaux distribués aux juvéniles de *C. gariepinus*. Ce taux de rétention varie entre $21,8 \pm 4,28$ % chez les poissons nourris avec le régime 5 et $36,3 \pm 6,32$ % chez les poissons nourris avec le régime contrôle R1 (Figure 9.). Il ressort des contrastes de Scheffé que cette différence hautement significative concerne les régimes 1, 2 et 3 lorsqu'ils sont comparés au régime 5.

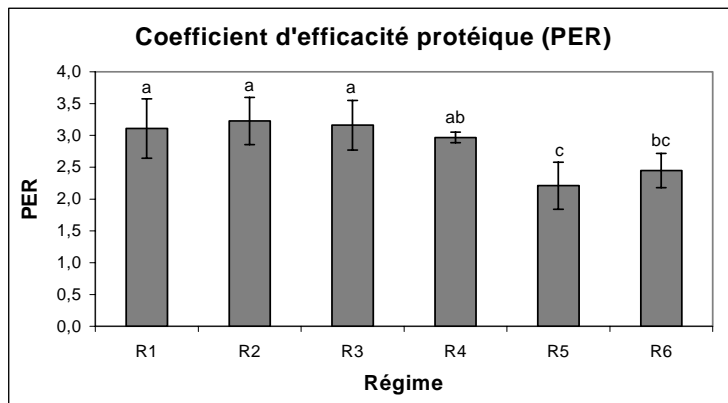


Figure 8. : Coefficient d'efficacité protéique (PER) chez les juvéniles de *C. gariepinus* en fonction du régime alimentaire, calculé à partir des différences de biomasse. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test LSD entre les différents régimes.

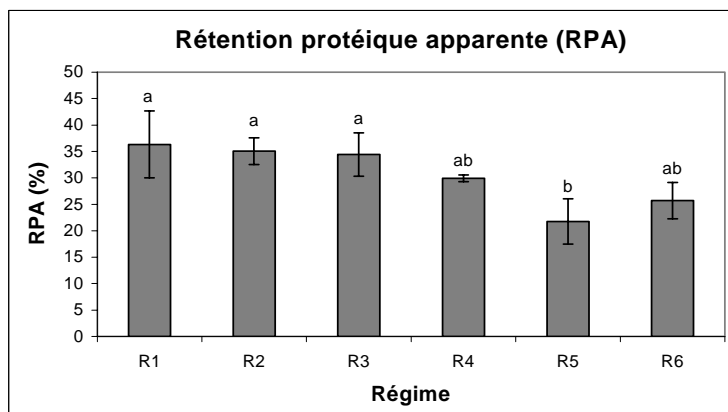


Figure 9. : Rétention protéique apparente (RPA) chez les juvéniles de *C. gariepinus* en fonction du régime alimentaire. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test de Scheffé entre les différents régimes.

Les taux de rétention énergétique, calculés à partir des rations énergétiques consommées durant l'expérience pour chacun des 6 régimes, restent faibles chez les poissons nourris avec ces 6 régimes expérimentaux, atteignant une valeur maximale de $33,7 \pm 7,15$ % pour le régime 3. Le taux de rétention énergétique minimale s'observe chez les poissons nourris avec le régime 5, pour lequel il n'est que de $23,1 \pm 3,72$ %. Le test statistique ANOVA 1 ne nous permet pas de mettre en évidence de différence significative ($P < 0,05$) entre les différents régimes. Néanmoins, il ressort du test non paramétrique LSD de Fisher qu'il existe une

différence significative entre les 4 premiers régimes et le 5^{ème}. Ces résultats sont exprimés graphiquement à la figure 10.

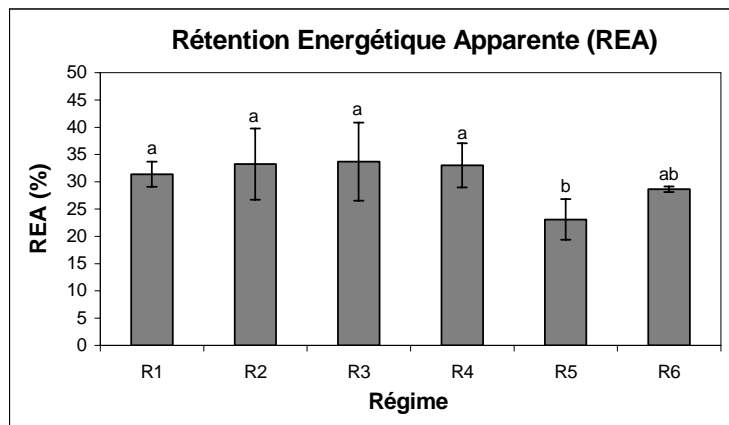


Figure 10. : Rétention énergétique apparente (REA) chez les juvéniles de *C. gariepinus* en fonction du régime alimentaire. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test LSD entre les différents régimes.

3. Dosages des facteurs antinutritionnels

Après analyses en laboratoire et dosages au spectrophotomètre, les résultats furent analysés en utilisant les mêmes outils statistiques qu'auparavant afin d'observer si les teneurs en tannins, en acides phytiques et en facteurs antitrypsiques des ingrédients et des aliments différaient statistiquement les uns des autres, et si les prétraitements auxquels fut soumis le tourteau de tournesol avaient une influence significative sur les teneurs en ces mêmes facteurs antinutritionnels. Les résultats de ces analyses statistiques sont repris dans les paragraphes ci-dessous.

3.1. Les tannins.

L'analyse statistique ANOVA 1 ne nous permet pas de mettre en évidence de différence significative ($P < 0,05$) entre les teneurs en tannins des 4 ingrédients analysés que sont les trois tourteaux de tournesol et le tourteau d'arachide. Cependant, l'analyse non paramétrique de Fisher nous permet d'observer que le décorticage du tourteau de tournesol semble diminuer significativement sa teneur en tannins. Quant au trempage de ce tourteau, bien que la quantité moyenne de tannins qu'il renferme soit inférieure à celle mesurée pour ce même tourteau non trempé, la forte variabilité des mesures ne nous permet pas de conclure à l'existence d'une différence significative entre ces deux ingrédients. La teneur en tannins du tourteau d'arachide est quant à elle similaire à celle du tourteau de tournesol décortiqué. Ces teneurs sont illustrées à la figure 11. Les raisons pour lesquelles ne furent pas dosés les aliments et la farine de haricots sont détaillées à la fin de l'annexe 7.

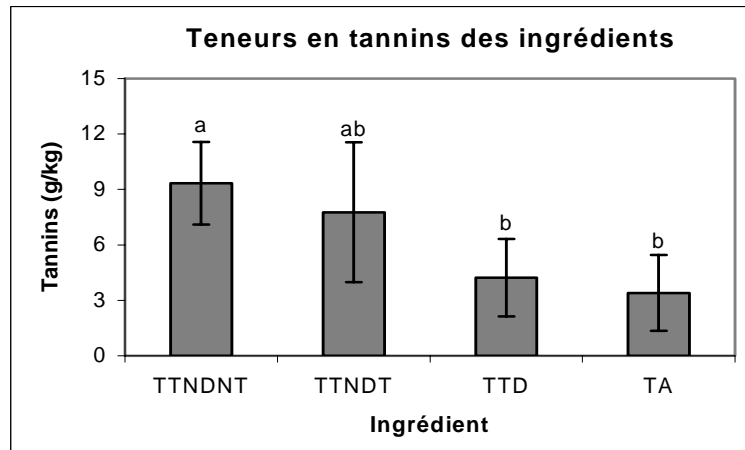


Figure 11. : Teneurs en tannins des différents tourteaux utilisés dans la formulation des régimes expérimentaux, exprimées en grammes par kilo d'ingrédient. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test LSD entre les différents ingrédients.

1.3.2. Les phytates

L'analyse statistique ANOVA 1 nous permet de mettre en évidence l'existence d'une différence très hautement significative entre les teneurs des aliments en phytates. Elles varient entre $24,1 \pm 3,56$ grammes par kilo d'aliments pour le régime 3 à base de farine de poissons, de tourteau de tournesol non décortiqué non trempé et de farine de haricot, et $38,4 \pm 4,16$ grammes par kilo d'aliments pour le régime 4 à base de tourteau de tournesol décortiqué et de farine de haricot. Les régimes 1, 2 et 3 diffèrent très significativement du régime 4, et le régime 3 diffère également du régime 5. Les valeurs exprimées en grammes de phytates par kilo d'aliments sont illustrées graphiquement à la figure 12.

L'analyse statistique ANOVA 1 ne nous permet par contre pas de mettre en évidence une différence significative ($P < 0,05$) entre les différents ingrédients. Les teneurs de ces derniers en phytates, plus élevées que celles des aliments, oscillent aux alentours de $36,1 \pm 7,12$. Cependant, l'analyse non paramétrique de Fisher (test LSD) nous permet de différencier les teneurs en phytates du tourteau de tournesol décortiqué et de la farine de haricot (Figure 13).

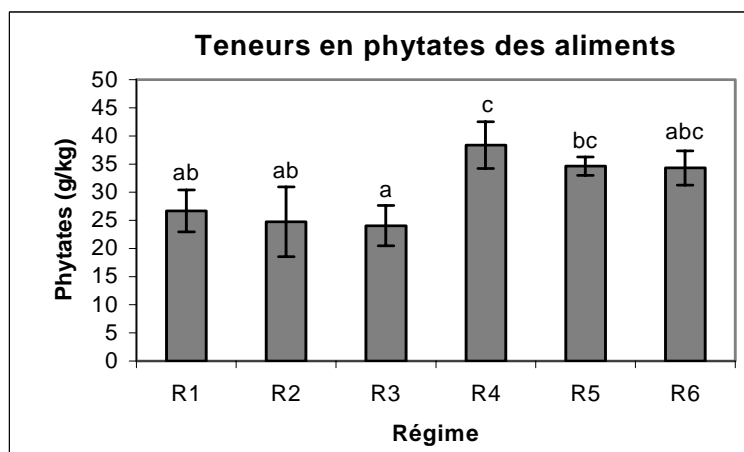


Figure 12. : Teneurs en phytates des différents régimes, exprimées en grammes par kilo d'aliment. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test de Scheffé entre les différents ingrédients.

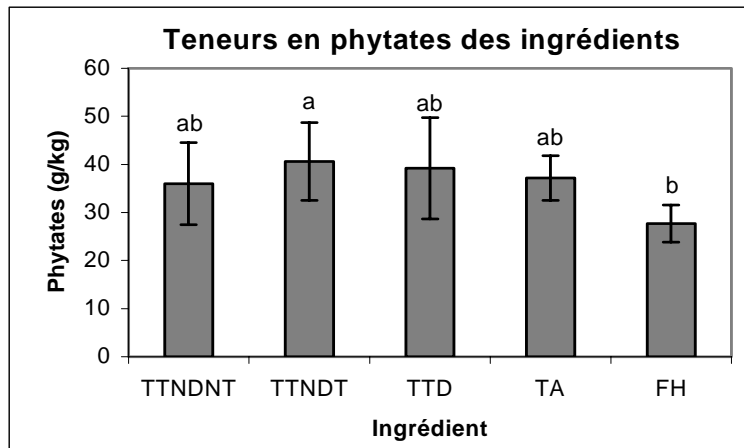


Figure 13. : Teneurs en phytates des différents ingrédients, exprimées en grammes par kilo d'ingrédient. Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test LSD entre les différents ingrédients.

3.3. Les facteurs antitrypsiques

L'analyse statistique ANOVA 1 nous permet de conclure à l'existence d'une différence hautement significative entre les activités antitrypsiques (exprimée en UI) des différents aliments. Cette différence s'observe bien graphiquement (figure 14), mais de par la grande variabilité des résultats obtenus, le test de comparaison des moyennes de Scheffé ne fait ressortir qu'une différence entre les aliments 1 et 6. Cependant, le test LSD de Fisher montre quant à lui la présence de nombreuses différences significatives entre ces mêmes aliments. Ce sont ces différences significatives qui se trouvent indiqués au-dessus des barres représentant les écarts-types sur l'histogramme.

En ce qui concerne l'analyse statistique ANOVA 1 des activités antitrypsiques des différents ingrédients, celle-ci ne met en évidence aucune différence significative entre ces derniers. Cela est par ailleurs confirmé par les tests de comparaison des moyennes de Sheffé et de Fisher qui eux non plus ne font ressortir aucune différence significative entre les différents régimes (figure 15).

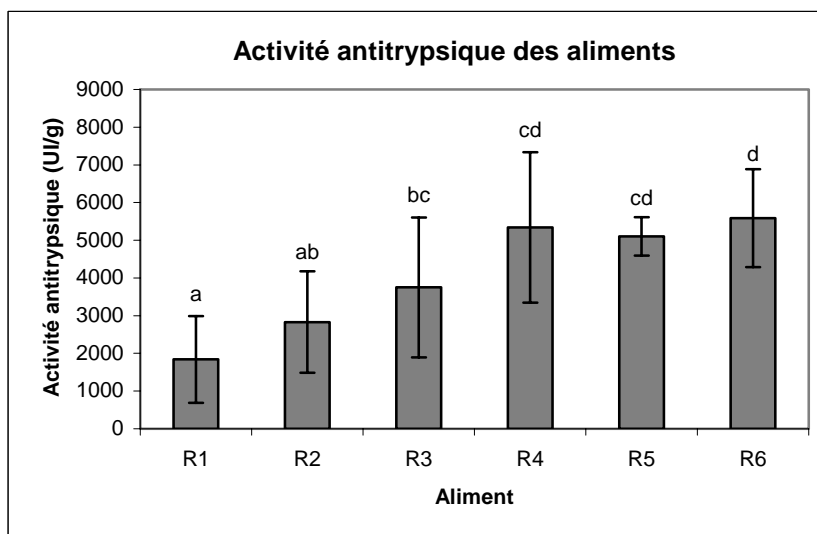


Figure 14. : Activité antitrypsique par gramme d'aliment (UI/g). Les lettres situées au-dessus des barres représentant les écarts-types correspondent aux différences significatives observées d'après le test LSD entre les différents aliments

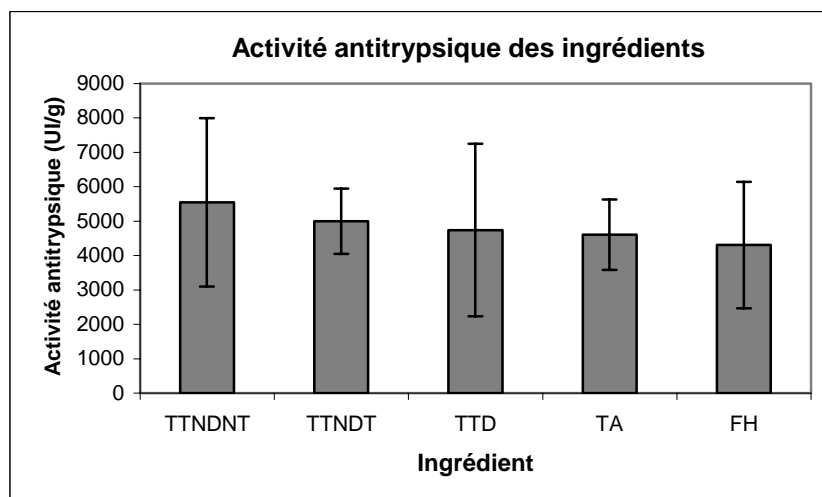


Figure 15. : Activité antitrypsique par gramme d'ingrédient (UI/g). Aucune différence significative n'est observée.

Quatrième partie:

discussion

1. Les paramètres zootechniques

Nous allons, à partir des différents résultats zootechniques, recentrer cette étude par rapport aux données déjà parues dans la littérature. De nombreux travaux ont en effet déjà été réalisés sur la nutrition et l'alimentation du poisson-chat africain, et de nombreux sous-produits végétaux ont été incorporés dans les formulations de régimes expérimentaux destinés à l'étude de la faisabilité de la substitution des farines de poissons par ces substituts agro-industriels. Nous allons maintenant nous pencher sur des valeurs chiffrées afin de déterminer si le tourteau de tournesol ayant subi ou non un prétraitement, et supplémenté par d'autres sous-produits végétaux, est un ingrédient dont l'efficacité pourrait justifier son utilisation à plus grande échelle dans l'élevage de cette espèce. Rappelons également que ce poisson est un candidat adéquat pour l'aquaculture au Rwanda, comme le font remarquer Huisman et Richter (1987), étant donné la possibilité de l'élever à de fortes densités dans des conditions environnementales pouvant être assez médiocres (poisson doté d'un appareil suprabranchial, forte résistance aux pathologies, etc).

1.1. Ingéré et efficacité de l'aliment

Il est intéressant de connaître, en aquaculture, quel est l'aliment qui, pour une efficacité de croissance optimale ou du moins similaire à celle d'un autre aliment, peut-être distribué en quantité moindre, l'aliment représentant le coût d'élevage principal (Hoffman *et al.*, 1997 ; Tacon, 1996). Dans cette étude, nous n'observons aucune différence significative entre l'ingéré des régimes contenant de 15 ou 25 % de farine de poissons (régimes 1 à 4) et celui des régimes qui en sont totalement dépourvus, soit les régimes 5 et 6 à base de tourteau de tournesol non décortiqué trempé et de tourteau de tournesol décortiqué, respectivement. Quant à la ration d'aliment à distribuer quotidiennement, exprimée en % du poids corporel frais des poissons, elle est significativement influencée par l'aliment distribué (cfr figure 1.3.). Ainsi, les juvéniles de *Clarias* nourris avec le régime 5 consomment proportionnellement plus d'aliment que les poissons des 5 autres régimes. Or, les différents paramètres d'efficacité de l'aliment (paramètres zootechniques et biochimiques qui seront discutés dans les paragraphes suivants) calculés pour ce même régime 5 sont, dans l'ensemble, inférieurs voire significativement inférieurs à ceux des 4 premiers régimes contenant de la farine de poissons.

On peut déjà en déduire que ce régime 5 est, comparé aux 4 premiers régimes, d'un intérêt moindre. En effet, les poissons nourris avec ce dernier mangent plus, proportionnellement à leur poids, tout en montrant une croissance moins bonne. Mais c'est sans compter le régime 6 qui est, pour sa part, d'un plus grand intérêt puisque, pour une ration d'aliments distribuée (en % du poids frais) comparable à celle des régimes 1 à 4, la croissance des poissons et l'efficacité de l'aliment sont significativement comparables. Ce premier critère d'évaluation de l'efficacité des aliments nous permet d'opter pour le régime 6, afin d'exclure la farine de poissons des aliments destinés à l'élevage des juvéniles de *C. gariepinus*, et d'exclure le régime 5, moins efficace que les régimes 4 et 6, et dans l'ensemble significativement plus médiocre que les régimes 1 à 3.

1.2. Gain de poids et taux de croissance spécifique

Le gain de poids et le taux de croissance spécifique des poissons sont de première importance. En effet, ce que cherche à connaître un aquaculteur, c'est le gain de poids qu'il peut espérer atteindre après un certain nombre de semaines d'élevage avec tel type d'aliment, dans telles conditions d'élevage. De nombreux sous-produits agro-industriels sont susceptibles de remplacer les farines de poissons, et parmi ceux-ci le tourteau de soja sur lequel de nombreuses études ont été réalisées. Ainsi, Fagbenro et Davies (1999) étudièrent la croissance de juvéniles de *C. gariepinus*, d'un poids initial moyen de 13,1 g, et nourris durant 70 jours avec des aliments expérimentaux isoprotéiques et isoénergétiques (40 % de protéines et 15 kJ d'ED par g d'aliment) renfermant des quantités croissantes de tourteau de soja décortiqué issu d'une extraction par solvant (25, 50 et 75 % de l'aliment avec, dans un 4^{ème} régime expérimental, une supplémentation du régime contenant 75 % de tourteau de soja par de la L-méthionine de synthèse). Le poids final de leurs poissons oscillait aux alentours de 62 g, ce qui correspond à un SGR moyen de 2,20 %·j⁻¹, excepté pour le régime à base de 75 % de farine de soja non supplémenté par de la L-méthionine de synthèse. Le poids final des poissons nourris avec cet aliment était de 54 g, soit un SGR correspondant égal à 2,03 %·j⁻¹. Il ressortit de leur étude que cette source de protéines végétales avait une grande valeur nutritionnelle pour l'alimentation de ce poisson, et qu'elle permettait de remplacer à plus de 50 % les farines de poissons, à condition de supplémenter leur déficience en acides aminés soufrés. Malgré les meilleures conditions thermiques (température comprise entre 24 et 28°C) dans lesquelles ces auteurs travaillèrent, les résultats qu'ils obtinrent sont inférieurs aux SGR de nos poissons, ceux-ci allant de 2,04 pour le régime 5 à 3,17 pour le régime 3. Dans ses deux expériences de substitution des farines de poissons par des farines de pois carrés incluses dans des régimes isoprotéiques et isoénergétiques (40 % de protéines et 17,5 kJ d'EB par g de poids sec), distribués à des poissons d'un même poids initial (5,8 g), dans des conditions expérimentales similaires, Fagbenro (1999a,b) démontra qu'il était possible de remplacer jusqu'à 80 % des farines de menhaden par des farines de pois carrés toastés ou autoclavés. Ces farines de pois carrés pouvaient totalement remplacer les farines de menhaden à condition d'être supplémentées avec 5 g de méthionine de synthèse par kg d'aliment. Il obtint, dans ses deux expériences, des SGR allant de 2,6 à 3,0 %·j⁻¹. Hoffman *et al.* (1997) obtinrent dans leur expérience de substitution de la farine de poissons par du tourteau de soja, des drèches de brasserie ou des farines de déchets de tomates des SGR qui variaient entre 1,9 et 3,4 %. Christensen (1981) obtint quant à lui de très faibles croissances, voire des croissances négatives en fin d'expérience, lorsqu'il nourrissait ses juvéniles de *C. gariepinus* avec des aliments à base de 30 % de pulpe de café. Il importe donc de rester prudent quant à l'utilisation de sous-produits agro-industriels et de bien sous-peser l'avantage qu'aurait l'incorporation de tel ou tel autre sous-produit dans un aliment piscicole. Ainsi, la pulpe de café, bien que très bon marché, n'est pas un ingrédient valorisable dans le cadre de l'aquaculture de cette espèce.

Dans notre étude, le SGR du régime 4, soit 2,70 %·j⁻¹, contenant 15 % de farine de poissons et 43 % de tourteau de tournesol décortiqué, n'est pas significativement différent de celui des régimes 1 à 3, soit 2,92 %·j⁻¹ en moyenne ; il en va de même avec le régime 6, dépourvu de farine de poissons et contenant 30 % de tourteau de tournesol décortiqué, et dont le SGR est de 2,55 %·j⁻¹. Par contre, le SGR des poissons nourris avec le régime 5, soit 2,04 %·j⁻¹, également dépourvu de farine de poissons et contenant 22 % de tourteau de tournesol non décortiqué trempé, montre que le simple fait de décortiquer ce tourteau permet d'obtenir de meilleurs résultats. Lorsqu'on compare les gains de poids des régimes 5 et 6, ceux-ci étant

de 250 et 377 %, respectivement, on en arrive à la même conclusion. L'effet d'un prétraitement adéquat des ingrédients sur les performances de croissance s'observe également dans l'expérience de Balogun et Ologhobo (1989). Ils remplacèrent la farine de poissons par du tourteau de soja cuit ou cru. Quels que soient les taux d'inclusion de ce tourteau (11, 22, 33 ou 45 % de l'aliment, substituant 25, 50, 75 ou 100 % de la farine de poisson, respectivement), les gains de poids sont largement supérieurs pour les régimes à base de farine de soja cuite, variant entre 0,20 et 0,25 $\% \cdot j^{-1}$, alors qu'ils ne font que décroître lorsqu'il s'agit de soja cru, passant de 0,13 à 0,06 $\% \cdot j^{-1}$ quand la teneur des régimes en farines de soja augmente de 11 à 45 %. Cela est vrai pour le poisson-chat africain, mais également pour d'autres espèces telles que le saumon (Novel 1979 cité par Balogun et Ologhobo, 1989).

D'autres sous-produits, animaux cette fois, peuvent également servir de substitut à la farine de poissons. Ainsi, Abdel-Warith *et al.* (2001) la remplacèrent par des sous-produits issus de l'élevage de poulets (Poultry By-product Meal, PBM), et nourrirent 10 semaines durant des juvéniles de *Clarias* d'un poids initial de 16,5 g avec des régimes isoprotéiques (35 g de protéines par 100 g de poids sec) dans lesquels la PBM substituait 20 à 100 % de la farine de poissons. Leur poids final oscillait entre 100 et 180 g, ce qui correspond à des SGR allant de 2,83 à 3,68 $\% \cdot j^{-1}$. Le régime exempt de farine de poissons et contenant 45,5 % de PBM donna les résultats les plus médiocres, mais ces chercheurs observèrent qu'il était possible d'incorporer jusqu'à 80 % de la farine de poissons par ces sous-produits aviaires tout en conservant des SGR tout à fait acceptables.

Il est donc tout à fait possible de remplacer en grande partie, voire totalement, la farine de poissons des aliments destinés au poisson-chat africain, à condition de bien connaître les profils et les carences en acides aminés des ingrédients utilisés dans leurs formulations et de les compléter par des produits de synthèse tels que la L-méthionine. Il est également possible de réduire ou supprimer ces carences en acides aminés par une combinaison judicieuse de différents sous-produits végétaux. La valeur nutritionnelle de la farine de haricot, *Phaseolus vulgaris*, peut être améliorée en la combinant avec des céréales, afin de compléter sa carence en acides aminés soufrés, ou en augmentant leur taux d'incorporation dans l'aliment (Hernandez-Infante *et al.*, 1979). Ainsi, le tourteau de tournesol et la farine de haricot se complètent efficacement. Les carences en méthionine (1,40 % de la matière azotée totale, MAT) et en cystéine (0,85 % MAT) du haricot sont compensées par les teneurs plus élevées en ces mêmes acides aminés du tournesol qui contient 2,3 et 1,7 % de méthionine et de cystéine (exprimé en % de la MAT) (Pusztai *et al.*, 1979 ; Sauvante *et al.*, 2002). Il est également possible d'améliorer génétiquement le contenu protéique du haricot et son profil en acides aminés en créant des espèces hybrides de *Phaseolus* (Baudoin et Maquet, 1999). Il est cependant toujours primordial de se rappeler que ces solutions alternatives peuvent ne pas être applicables par leur coût élevé ou par l'indisponibilité de tel ou tel autre ingrédient. Le but premier de cette substitution de la farine de poissons est de permettre non seulement une aquaculture durable, mais également de fournir des protéines animales à un coût moindre aux populations des pays en voie de développement. Il est donc important de tenir compte de ce paramètre lors des formulations expérimentales.

1.3. Taux de conversion alimentaire

Nous allons resituer, par rapport à la littérature existante, et commenter le taux de conversion alimentaire (TCA) de nos aliments expérimentaux. Le TCA le plus élevé s'observe pour le régime 5 (1,38) et le TCA le plus bas s'observe pour le régime 3 (0,87). Ces valeurs sont meilleures que celles obtenues par Abdel-Warith *et al.* (2001) qui variaient entre 1,25 et 2,60 en fonction du taux d'inclusion de sous-produits aviaires dans leurs aliments expérimentaux pour juvéniles de *C. gariepinus*. Les taux de conversion alimentaire obtenus par Fagbenro (2004) variaient quant à eux entre 1,52 et 2,27 en fonction du régime administré soit à base de farine de soja, soit à base de farine de roquette incluse à 19,5, 39 ou 58,5 % dans ses aliments. Les taux de conversion alimentaire obtenus par Giri *et al.* (2000) dans leur expérience de substitution de la farine de poissons par de la farine de viscères de poulets ou des farines végétales (soja, arachide et moutarde) étaient de 3,0 et 2,9, respectivement. Les résultats obtenus avec nos aliments à base de tourteau de tournesol donnent des résultats tout à fait satisfaisants, par rapport à ceux d'autres chercheurs, puisque ceux-ci sont meilleurs que ceux cités auparavant, et plus petits que 1 pour les 4 premiers régimes. Les poissons ont été nourris à satiété 2 fois par jour, à 9 et 16 heures, respectivement. Il n'y eu aucun gaspillage apparent d'aliment, tout l'aliment distribué étant ingéré par les poissons. Une vérification systématique était effectuée en fin de nourrissage, afin de s'assurer qu'aucun granulé ne reposait dans le fond des bassins. De plus, *C. gariepinus* se nourrit aussi bien en surface de l'eau que sur le fond, ce qui facilitait la distribution de l'aliment, et ne faisait pas entrer en cause les différences de densité des aliments qui coulaient plus ou moins vite selon leur formulation (aliment le plus dense : R5 ; aliment le moins dense : R2). De même, Fagbenro (2004) nourrissait ses poissons deux fois par jour à satiété, cela durant 70 jours. Quant à Abdel-Warith *et al.* (2001), ils distribuèrent des rations d'aliment correspondant à 4 % du poids moyen individuel des *Clarias* juvéniles durant les 4 premières semaines de leur expérience, ensuite à 3 % durant les trois suivantes et finalement à 2,5 % durant les deux dernières, soit une période expérimentale de 10 semaines. Nous avons également distribué des rations moyenne d'aliments similaires à nos poissons (cfr figure 3.3.), mais ces quantités d'aliment distribuées, exprimée en % du poids frais des poissons, l'étaient selon la demande des poissons. En nourrissant nos poissons de la sorte, nous leur avons fourni une quantité d'aliment optimale, ce qui explique les bons résultats observés pour nos taux de conversion alimentaire. Remarquons par ailleurs que bien que les poissons soient nourris à satiété deux fois par jour, une troisième distribution d'aliment aurait pu être envisagée, les poissons venant dans le courant de la journée à la surface de l'eau quémander de la nourriture lorsque l'on s'approchait des bassins.

2. Les résultats des analyses biochimiques effectuées sur les tourteaux de tournesol et sur les poissons

2.1. Teneurs en protéines des tourteaux de tournesol et des carcasses de poissons

De simples traitements préalables des ingrédients permettent d'augmenter la disponibilité des protéines et la qualité de ces dernières ou de les concentrer dans les ingrédients utilisés. Ainsi, dans notre étude, le contenu protéique (exprimé en % de la matière sèche) du tourteau de tournesol passe de 26,9 à 33,0 % lorsque ce dernier est dépouillé de sa coque indigeste, ce qui par ailleurs permet d'en diminuer fortement la teneur en fibres. Ces

teneurs sont très proches de celles publiées par Sauviant *et al* (2002), soit 27,7 % pour le tourteau de tournesol non décortiqué et 33 % pour ce même tourteau décortiqué (exprimé en % de la matière fraîche). Une autre démarche consiste non pas à concentrer les protéines des ingrédients expérimentaux, mais à les rendre plus digestes. Ainsi, Fagbenro et Bello-Olusoji (1997) augmentèrent la digestibilité des farines de crevettes d'environ 10 % en les laissant fermenter 30 jours durant avec *Lactobacillus plantarum* à pH inférieur à 4,5, celle-ci passant de 79 à 88 %. Une augmentation de la digestibilité de l'ingrédient par un traitement préalable de ce dernier, combinée à son effet destructeur sur certains des facteurs antinutritionnels présents dans l'ingrédient, permet donc une meilleure utilisation de ce même ingrédient non traité.

Les valeurs moyennes de teneurs en protéines de nos poissons sont inférieures à celles retrouvées dans la littérature. Elles étaient de 12,0 % (exprimé en % sur matière fraîche, MF) en début d'expérience, et sont descendues à un pourcentage moyen de 11 % après les deux mois d'élevage en circuit fermé. Fagbenro (2004) mesura des teneurs en protéines de 16,8-17,5 % (sur MF) à la fin de son expérience de nutrition de juvéniles de *Clarias* à partir de régimes expérimentaux à base de farine de roquette, la teneur en protéines corporelles des poissons en début d'expérience étant de 15,9 % (sur MF). Quant à Fagbenro et Davies (1999), qui remplacèrent la farine de poissons par des teneurs croissantes en farines de soja, ils obtinrent des teneurs finales en protéines de 15 à 18 % (sur MF). La teneur moyenne en protéines de ses juvéniles était, en début d'expérience, de 16,5 % (sur MF). Giri *et al.* (2000) mesurèrent pour leur part des teneurs en protéines corporelles finales variant entre 16,5 et 17,2 % (sur MF) dans leur expérience de substitution de la farine de poissons par des viscères de poulets. Bien que les teneurs en protéines de nos poissons ne soient pas très élevées par rapport à ce qui se trouve dans la littérature, la variation du pourcentage de protéines corporelles entre le début et la fin de l'expérience correspond à la gamme de variation qui s'observe dans d'autres études, soit des différences de 0 à 3 %. Cette faible teneur corporelle finale en protéines s'explique logiquement par la faible teneur initiale. La faible variation entre la teneur en protéines corporelles initiale et la teneur en protéines corporelles finale découle du fait que chez les poissons téléostéens, l'alimentation peut faire varier le rapport entre la teneur en eau corporelle et en lipides, mais non celles des protéines (Dias, 1999). On peut se poser la question de l'exactitude de notre méthode de dosages des protéines. Il se pourrait en effet que cette méthode (méthode Kjeldahl, annexe 2), telle qu'appliquée dans le cadre de ces dosages protéiques, sous-estime systématiquement les teneurs réelles en protéines des poissons. Cependant, Henrotte (2004) qui dosa les protéines corporelles de perches, *Perca fluviatilis*, selon cette même méthode et à la même période (début juillet 2004), obtint une teneur moyenne en protéines corporelles de 10,8 % (sur MF), ses résultats étant comparables aux nôtres. Toutefois, sur base de la matière sèche, les teneurs en protéines des perches de l'expérience de Henrotte (2004) variaient entre 52,8 et 65,9 %, alors qu'elles étaient de seulement 40 à 44 % chez les *Clarias* de notre expérience. Il est difficile de connaître les raisons pour lesquelles les teneurs en protéines corporelles de nos poissons sont inférieures à ce que l'on retrouve dans la littérature. Nous ne pouvons que constater les faits, et nous poser la question de savoir si ce faible pourcentage mesuré sur les carcasses de nos juvéniles s'observe également chez les adultes et les larves des étangs d'élevage et de grossissement à Rwasave. Il aurait été intéressant de faire ce même dosage sur ces derniers. Mais cette teneur ne devrait normalement pas changer substantiellement pour les raisons listées ci-dessus (Dias, 1999).

2.2. Les lipides

Le dosage des teneurs en lipides des poissons en fin d'expérience n'a montré aucune différence significative entre les différents régimes, et ces teneurs correspondent à ce que l'on peut trouver dans la littérature, soit entre 4 et 8 % approximativement (Ng *et al.*, 2003, 2004). Il est cependant intéressant de noter qu'il est possible de modifier le profil lipidique de ce poisson par l'apport de sources de lipides exogènes spécifiques. Les profils en acides gras de *C. gariepinus* peuvent être manipulés afin de rendre ses muscles nutritionnellement plus intéressants. C'est ce que démontrèrent Hoffman et Prinsloo (1995) qui utilisèrent différentes sources de lipides, dont l'huile de tournesol, dans la formulation de leurs régimes expérimentaux, et qui obtinrent les meilleurs taux de croissance avec ce type d'huile. Etant donné que l'apport lipidique dans nos régimes se fait entre autre par l'adjonction de 20 à 25 ml de cette huile par kilo d'aliment (cfr tableau 2.3.), il nous semblait intéressant de relever cette information.

3. Les critères d'utilisation des nutriments

Considérons maintenant les coefficients d'efficacité d'utilisation des 6 régimes expérimentaux, soit les coefficients de rétention protéique (PER) et les taux de rétention protéique et énergétique apparents. Nous allons à nouveau les recentrer par rapport à ce qui a déjà été publié au préalable lors d'autres expériences de substitution de la farine de poissons par des sous-produits agro-industriels. Les PER observés dans le cadre de notre étude varient entre 2,21 et 3,23 pour les régimes 5 et 3, respectivement. Ces valeurs sont supérieures à celles qu'obtint Fagbenro (1999b) avec ses différents aliments formulés à partir de farine de pois carrés. Elles étaient de 1,60 pour la farine de pois carrés supplémentée avec de la méthionine de synthèse, 1,90 pour la farine de pois non supplémentée et 2,78 pour le régime contrôle à base de farine de poissons. Dans une expérience de substitution de la farine de soja par de la farine de roquette dans l'alimentation de juvéniles de *Clarias*, Fagbenro (2004) obtint des PER variant entre 1,22 et 1,59 pour ses trois régimes. 20, 40 et 60 % de l'apport protéique était assuré par cet ingrédient de substitution. Le PER de son régime contrôle à base de farine de soja était quant à lui égal à 1,70. Fagbenro et Fasakin (1996) obtinrent pour leur part des PER oscillant entre 1,49 et 1,62 à la fin de leur expérience dans laquelle la farine de poissons fut remplacée par des ensilages de poulets. Giri *et al.* (2000) remplacèrent la farine de poissons par des viscères de poulets et de la farine de soja, ainsi que du tourteau d'arachide dans des aliments expérimentaux pour une autre espèce du genre *Clarias*, *C. batrachus*. Ils calculèrent des PER de 1,6 et 1,2 pour les régimes à base de viscères poulets et de farine de soja, respectivement, tous deux additionnés de tourteau de tournesol. Enfin, Fasakin *et al.* (2003) étudièrent l'efficacité alimentaire de farines de magots (larves de mouches produites pendant la décomposition d'excréments de poulets) délipidées ou non et séchées au four ou au soleil. Les PER qu'ils calculèrent variaient entre 0,75 pour l'aliment formulé avec des magots non délipidés séchés au four et 1,12 pour celui formulé avec des magots délipidés séchés au four.

Les coefficients d'efficacité protéique (PER) déterminés dans notre étude sont, comparés à ceux listés dans le paragraphe précédent, très satisfaisants, et supplantent même les PER déterminés par certains auteurs qui alimentèrent les juvéniles de *Clarias* à partir de sources alternatives de protéines de type animal et non végétal. Les PER calculés dans cette

expérience sont globalement plus élevés que ceux calculés par Nyina-wamwiza (2003). Celle-ci obtint des PER de 1,95 pour son régime formulé à partir de tourteau de tournesol, et des PER variant entre 2,51 et 2,70 pour ses trois autres régimes formulés à partir de tourteau d'arachide, de soja ou de farine de haricot. Excepté pour nos régimes 5 et 6 contenant du tourteau de tournesol non décortiqué trempé ou décortiqué, et dépourvu de farine de poissons pour lesquels les PER sont de 2,2 et de 2,5, les autres PER varient entre 3,0 et 3,2. Le coefficient d'efficacité protéique semble donc influencé par la présence de farine de poissons, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'il est plus facile pour un poisson omnivore à tendance carnivore tel que *C. gariepinus* de convertir des protéines animales que des protéines végétales en protéines tissulaires. Néanmoins, nos résultats restent tout à fait appréciables, et malgré cette valeur de PER significativement plus faible pour le régime 6 que pour les régimes 1 à 3, il faut se rappeler que cela n'eut pas d'influence significative sur les paramètres de croissance des poissons. La rétention protéique apparente (RPA) de nos régimes varie quant à elle entre 21 et 44 % pour les régimes 5 et 1, respectivement. Excepté pour ce régime 5 pour lequel la valeur moyenne de RPA est assez médiocre, les autres valeurs mesurées sont satisfaisantes, et supérieures à d'autres que l'on peut trouver dans la littérature. Ainsi, Fagbenro et Davies (1999) obtinrent des RPA allant de 20 à 28 % avec leurs régimes à base de farine de soja incorporée en doses croissantes dans leurs régimes expérimentaux.

La rétention énergétique apparente (REA) a été quant à elle assez médiocre. Elle varie entre 28 et 34 % pour les régimes 5 et 3, respectivement. Ces valeurs sont égales ou inférieures à celles obtenues par Nyina-wamwiza (2003) lors de son expérience dans laquelle elle obtint respectivement des REA de 31 à 47 % pour ses régimes à base de tourteau de tournesol et de tourteau d'arachide. Lorsqu'on les compare à certaines valeurs disponibles dans la littérature, on remarque par exemple que Van Weerd *et al.* (1999) obtinrent des valeurs oscillant entre 40 et 52 % dans leurs régimes à base de farine de soja ayant subi ou non un traitement préalable à la phytase, valeurs à nouveau supérieures aux nôtres.

4. Formulations expérimentales, résultats zootechniques et biochimiques et efficacités des aliments

Nos nombreuses observations et leur comparaison avec les résultats disponibles dans la littérature nous amènent à poser certaines conclusions quant à l'efficacité de nos régimes. Il ressort de cette expérience que la farine de poisson peut-être totalement remplacée par des sous-produits végétaux. En effet, les résultats de croissance obtenus avec le régime 6 dépourvu de farine de poissons ne sont pas significativement différents de ceux calculés pour le régime 4 contenant 15 % de farine de poisson, ni même de ceux des régimes 1 à 3 en contenant 25 %. Quant au régime 3 qui nous donne des valeurs de croissance supérieures aux autres régimes, celles-ci ne sont pas significativement différentes de celles des régimes 1, 2, 4 et 6.

Les conclusions les plus intéressantes que l'on peut tirer de cette expérience réside dans la comparaison des résultats obtenus avec les régimes 5 et 6, comparés à ceux des 4 autres régimes. Le régime 6 nous permet d'en conclure que la farine de poissons peut être totalement exclue d'un régime destiné à *C. gariepinus*, mais que le tourteau de tournesol qu'il contient doit être dans ce cas correctement supplémenté avec de la farine de haricot pour sa carence en lysine, ce tourteau supplémentant lui-même les déficiences de la farine de haricot en acides aminés soufrés. Le haricot supplémente également la carence du tourteau d'arachide en lysine.

Quant au décortilage, il semble essentiel pour une bonne utilisation de l'aliment par les poissons. En ce qui concerne les critères d'efficacité des ingrédients, bien que le PER du régime 6 soit significativement différent de celui des trois premiers régimes et que la RPA et la REA soient inférieures, cela ne semble pas influencer les paramètres de croissance. Il en va tout autrement pour le régime 5 qui nous donne dans tous les cas des résultats que nous pouvons qualifier de médiocre quand on les compare à ceux des régimes 1 à 3.

Cette expérience pourrait être prolongée sur de plus longues périodes afin de vérifier nos dires et de nous assurer que ces observations se confirment chez des *Clarias* de grande taille. Mais *a priori*, les résultats de notre expérience devraient être confirmés car les besoins des poissons sont moins stricts lorsqu'ils grandissent. Remarquons également que cette expérience fut menée en circuit fermé et qu'il n'y eut donc aucun apport protéique autre que sous la forme de granulés. Ceci est d'une grande importance puisque la nourriture endogène à un plan d'eau participe généralement de manière substantielle à la croissance des poissons, sans que cet apport ne soit quantifiable. Les résultats de nos expériences auraient donc pu, le cas échéant, être tout autres.

5. Les teneurs en facteurs antinutritionnels des ingrédients et des aliments

5.1. Les teneurs en tannins

Les teneurs en tannins des ingrédients analysés nous permettent de ressortir, malgré la grande variabilité des résultats obtenus, certaines observations intéressantes. Bien que le trempage du tourteau de tournesol ne semble pas avoir affecté significativement la teneur en tannins de cet ingrédient, le décortilage a pour sa part fourni un résultat marqué sur cette même teneur. Celle-ci diminua de plus de moitié, passant de 9,3 à 4,2 g de tannins par kilo de tourteau. Il a déjà été démontré pour d'autres végétaux que le décortilage permettait de diminuer significativement leur contenu en ce facteur antinutritionnel. Ainsi, Alonso *et al.* (1998) montrèrent qu'il était possible de diminuer les teneurs en tannins, et en polyphénols en général, en décortiquant différents cultivars de pois. Il est cependant difficile de comparer les résultats obtenus dans cette étude avec ceux d'autres recherches car le contenu en tannins mesurés par la méthodologie décrite auparavant donne des résultats fort variables en fonction de la température, du temps d'incubation, etc (Schofield *et al.*, 2001). Ainsi, certaines légumineuses tropicales renfermeraient jusqu'à 300 grammes de tannins par kilo de matière sèche, tandis que certaines graines d'oléagineux en renfermeraient moins d'1 gramme. Ces teneurs sont obtenues selon la même méthode de dosage que celle utilisée dans notre étude (méthode de Folk *et al.*, 1957, annexe 1.), adaptée aux ingrédients à doser (Enujiugha et Ayodele-Oni, 2003 ; Schofield *et al.*, 2001). Mais notre but n'est finalement pas de pouvoir comparer les teneurs en tannins des ingrédients entre eux, mais surtout de se rendre compte si les prétraitements auxquels a été soumis le tourteau de tournesol ont un effet significatif sur sa teneur en ce facteur antinutritionnel, ce que nous avons démontré.

Il est étonnant que le trempage n'ait pas eu d'effet significatif sur les teneurs en tannins. Le tourteau de tournesol non décortiqué fut trempé 24 heures durant dans un volume d'eau suffisant pour que tout le tournesol y soit bien immergé, et après 12 heures un renouvellement de l'eau était effectué. Le trempage du tourteau de tournesol non décortiqué n'était pas réalisable car une fois plongé dans l'eau, celui-ci formait une pape inutilisable par la suite. La cuticule du tournesol peut ne pas avoir permis aux tannins solubles de diffuser vers le liquide.

Par ailleurs, il se peut que le simple trempage dans de l'eau ne suffise pas à s'en débarrasser suffisamment que pour montrer une différence significative. Alonso *et al.* (2000) trempèrent des haricots, *Vicia faba* et *Phaseolus vulgaris*, dans de l'eau bidistillée durant 12 heures, dans le noir et à 30 °C et diminuèrent significativement leur teneur en tannins. Elle passa de 3,59 à 2,72 g.kg⁻¹ de matière sèche (MS) pour *P. vulgaris*, et de 1,95 à 1,02 g.kg⁻¹ de MS pour *V. faba*. Le décortilage montre quant à lui des différences plus marquées encore, la teneur en tannins de ces deux mêmes espèces de haricots passant de 3,59 à 0,24 et de 1,95 à 0,15 g.kg⁻¹ de MS, respectivement. Les tannins étant concentrés dans les membranes externes des graines, il est normal que ce prétraitement ait un effet plus marqué. Il est probable que le trempage a eu un effet sur la teneur du tournesol en tannins, mais le décortilage se révélant plus efficace, il est préférable de prétraiter le tournesol de la sorte. De plus, nous avons vu auparavant que le tournesol devait préférentiellement être décortiqué afin d'en favoriser l'efficacité alimentaire lors de son incorporation dans la formulation d'un aliment.

Le protocole de dosage des tannins tel que décrit en annexe (cfr annexe 7.) ne nous a pas permis de doser les teneurs en tannins de la farine de haricot et des aliments. Ces teneurs sont calculées à partir d'une différence d'absorbance entre l'échantillon incubé avec du sulfate d'ammonium de fer, le réactif, et celui incubé sans réactif. Or, suite à l'expression d'un pigment rose, cette différence d'absorbance était négative, et ne pouvait donc pas être reportée sur notre droite d'étalonnage. Il nous faudrait donc réadapter le protocole utilisé pour effectuer ces dosages, mais dans ce cas le protocole n'étant plus le même pour la farine de haricot et les aliments, comparé à celui utilisés pour le dosage des tannins des autres ingrédients, les résultats finaux ne seront pas comparables. Une autre solution serait d'utiliser un nouveau protocole tel qu'un dosage par HPLC qui, combiné à diverses autres méthodes de détection permettra d'élucider la complexité des tannins hydrolysables et condensés (Schofield *et al.*, 2001).

5.2. Les teneurs en acides phytiques

Seul le test non paramétrique de Fisher nous a permis de faire ressortir une différence significative entre la teneur en acides phytiques de la farine de haricot et celle du tourteau de tournesol non décortiqué trempé, ce dernier en renfermant significativement plus. Il semble n'y avoir aucune différence significative entre les teneurs en phytates des tourteaux de tournesol non décortiqués non trempés, non décortiqués trempés et décortiqués. Les concentrations en phytates mesurées varient entre 35 et 40 g de phytates par kilo d'ingrédient, excepté pour la farine de haricot pour laquelle elle est de 28 g. Alonso *et al.* (1998) mesurèrent des teneurs en acides phytiques de 15,9 et de 21,7 g.kg⁻¹ pour le haricot, *Phaseolus vulgaris*, et pour la fève, *Vicia faba*, respectivement. Ces derniers ne parvinrent pas non plus à montrer de différence significative entre ces teneurs en phytates et celles de ces mêmes ingrédients décortiqués. Comme nous, ils obtinrent des teneurs légèrement supérieures pour ces graines décortiquées, soit 16,2 g.kg⁻¹ pour le haricot et 23,8 g.kg⁻¹ pour la fève. Chavan *et al.* (2003) mesurèrent pour leur part des teneurs en phytates de 3,7 g.kg⁻¹ de pois de mer, *Lathyrus maritimus*. Certains auteurs mesurent quant à eux des teneurs en phytates inférieures à celles que nous obtenons, soit des teneurs de l'ordre du g, ces dernières augmentant à nouveau légèrement lorsque les graines sont décortiquées (Alonso *et al.*, 1998). Cela est normal, selon Alonso *et al.* (1998), puisque ce facteur est présent de manière caractéristique dans les cotylédons des graines. Quant au trempage, nous ne pouvons faire aucune conclusion quant à son utilité. Nous avons observé qu'il provoquait une légère augmentation non significative de la teneur en phytates du tourteau de tournesol. Or, si nous reprenons les

résultats de Alonso *et al.* (1998, 2000), le trempage des trois cultivars de pois qu'ils étudièrent ainsi que celui du haricot et de la fève montrèrent des teneurs en phytates significativement inférieures aux graines non trempées. D'autres auteurs observèrent également une diminution significative de la teneur en phytates de leurs ingrédients après trempage de ces derniers (Siddhuraju *et al.*, 2002). Cette absence de différence significative entre les tourteaux de tournesol trempé ou non est probablement due à la variabilité de nos résultats, et une étude plus approfondie nous permettrait de faire ressortir une différence significative. De plus, les résultats obtenus par Alonso *et al.* (1998, 2000) dans leurs deux expériences de dosages l'ont été par la méthode d'extraction en milieu acide suivie de la précipitation de phytate de fer (III) avant la remise en solution des phytates en milieu alcalin. Notre méthodologie d'extraction suivant la même procédure, et nos résultats étant dans la même gamme que ceux obtenus par Alonso *et al.* (2000), cela laisse supposer que ces valeurs sont correctes. Talamond *et al.* (2000) étudièrent également les teneurs en acides phytiques d'une série de produits végétaux, et ils obtinrent des valeurs de teneurs en tannins allant de 2,7 (riz, *Vigna umbelatta*) à 10,6 g.kg⁻¹ (variété de lingot blanc) pour les différentes graines de légumineuses étudiées, de 6,8 et de 12-13 g.kg⁻¹ pour l'arachide et pour du soja, respectivement, et de 5 à 7,6 g.kg⁻¹ pour trois sortes de céréales. La teneur en phytates qu'ils mesurèrent dans l'arachide, soit 6,8 g.kg⁻¹, est néanmoins assez différente de celle obtenue dans notre étude, soit 37,2 g.kg⁻¹. Quant à Egounlety et Aworth (2003), ils mesurèrent des teneurs en phytates dans des graines d'arachide cuites et décortiquées de 7,9 g par kilo.

La teneur en acides phytiques des trois premiers régimes contenant 25 % de farine de poissons tourne aux alentours de 25 g.kg⁻¹, et elle augmente une fois que la teneur des aliments en farine de poissons diminue, soit pour les régimes 4 à 6. Ces trois derniers régimes contiennent approximativement les mêmes teneurs en acides phytiques, soit entre 34 et 38 g.kg⁻¹ d'aliments. Les teneurs en acides phytiques des deux derniers régimes ne contenant pas de farine de poissons sont similaires à la teneur moyenne que nous retrouvons dans les ingrédients, qui est de 36 g.kg⁻¹. Il existe donc bien une corrélation entre la teneur en acides phytiques de nos aliments, et la quantité de sous-produits végétaux incluse dans leur formulation.

5.3. Les facteurs antitrypsiques

Nous avons défini l'unité (UI) d'inhibiteur de trypsine comme une variation d'absorbance de 0,001 par minute entre l'échantillon contenant l'antitrypsine, auquel a été ajouté la solution de trypsine, et une référence ne contenant que de la trypsine. Elle varie entre 4.300 (farine de haricot) et 5.500 (tourteau de tournesol non décortiqué non trempé) UI par g d'ingrédient. Alonso *et al.* (1998, 2000) déterminèrent l'activité antitrypsique de trois cultivars de pois (*Renala*, *Solara* et *Ballet*) et de deux espèces de haricots (*V. faba* et *P. vulgaris*). Ils définirent leur unité d'activité antitrypsique comme une variation d'absorbance de 0,01 par minute. L'activité antitrypsique de ces cultivars, également exprimée en unités d'inhibiteurs de trypsine par g d'échantillon, est de 38.000 UI pour le cultivar *Renala*, de 28.000 UI pour le cultivar *Solara* et de 63.200 UI pour le cultivar *Ballet*. Seul le trempage permis d'en diminuer significativement le contenu en facteur antitrypsique, le décorticage de ces pois conduisant quant à lui à l'augmentation de sa concentration. Il en était de même pour leurs dosages effectués sur les haricots. Ils attribuèrent cette augmentation de la teneur en facteur antitrypsique au fait que ces derniers se trouvent concentrés dans la graine et non dans leurs membrane externe. Ces valeurs sont dix fois supérieures à celles de nos ingrédients. Chavan *et al* (2003) mesurèrent quant à eux une activité antitrypsique de l'ordre de 4.170 UI

par gramme de pois de mer, *Lathyrus maritimus*. Pisulewska et Pisulewski (2000) mesurèrent des activités anti-trypsiques de 4.360 UI, en moyenne, dans deux cultivars de pois (*Granit* et *Tegma*), de 3.409 UI dans des lentilles (cultivar *Nelka*) et de 60.400 UI, en moyenne, dans deux cultivars de soja (*Aldana* et *Nawiko*). A nouveau, nous nous situons dans des gammes de valeurs similaires à celles obtenues par d'autres auteurs, ce qui nous laisse supposer l'exactitude des dosages effectués sur nos ingrédients. Cependant, la grande variabilité au sein de nos résultats ne nous permet pas d'en ressortir quelque information que ce soit. Il serait intéressant d'affiner d'avantage la méthode de dosage.

L'intérêt de nos résultats réside à nouveau dans la teneur globale de ce facteur antinutritionnel dans nos aliments. C'est en effet un aliment que mangent les poissons, et non des ingrédients séparés. Le dosage des ingrédients nous permet par contre de voir dans quelle mesure chacun d'eux participe à l'activité antitrypsique dosée dans les aliments. Nous observons que celle-ci augmente significativement lorsque le taux d'incorporation en sous-produits végétaux augmentent dans nos aliments. Elle est maximale dans les derniers régimes, et la valeur moyenne observée pour les trois derniers aliments, soit 5.340 UI, est semblable à la valeur moyenne de nos ingrédients, soit 4.840 UI.

5.4. Croissance et facteurs antinutritionnels

Les teneurs des ingrédients en facteurs antinutritionnels ne sont généralement pas significativement différentes d'un ingrédient à l'autre, soit parce que ces teneurs sont similaires ou parce que la variabilité de nos mesures ne nous permet pas de faire ressortir de différence significative. Mais l'intérêt de nos observations réside dans le fait que, bien que le taux d'inclusion des sous-produits végétaux augmente dans les régimes expérimentaux jusqu'à remplacer totalement la farine de poissons, et que les concentrations de ces aliments en facteurs antinutritionnels (acides phytiques et facteurs antitrypsiques) fassent de même, les paramètres de croissance n'en sont pas modifiés pour autant. En effet, le régime 6 montre une croissance et une efficacité alimentaire comparables à celles des premiers régimes, alors que sa teneur en facteurs antinutritionnels est plus importante. Par contre, le régime 5 est, comme nous l'avons discuté auparavant, assez médiocre et donne des résultats inférieurs aux autres régimes. Or, ses teneurs en facteurs antinutritionnels sont dans la même gamme de grandeur que celles des régimes 4 et 6 contenant respectivement 15 et 0 % de farine de poissons. Ces résultats plus médiocres ne s'expliquent donc pas par les teneurs en facteurs antinutritionnels.

Si nous considérons maintenant les traitements réalisés sur le tournesol des régimes 5 et 6, nous pouvons à nouveau en déduire que ces différences d'efficacité de l'aliment découlent du traitement préalable du tournesol. Le tourteau de tournesol, après décorticage, donne des résultats bien meilleurs et non significativement différents des autres régimes contenant de la farine de poissons. Les teneurs en facteurs antinutritionnels de nos ingrédients et de nos aliments n'ont donc aucun effet aversif sur l'efficacité des aliments, et seul la formulation des aliments et le prétraitement du tournesol influencent les résultats observés dans cette étude.

Cinquième partie:

conclusions et perspectives

Le problème majeur qui se pose à l'heure actuelle dans de nombreux pays en voie de développement est un problème de mal nutrition, voire de sous-nutrition. Par ailleurs, les quotas de pêche ont atteint, à l'heure actuelle, un pallier maximal qui ne peut encore être augmenté. Face à ce double problème, le développement de l'aquaculture, et plus particulièrement de la pisciculture, est une des solutions pour y pallier, encore faut-il qu'il s'agisse d'une pisciculture durable et intégrée. Une pisciculture durable nécessite l'utilisation de sources de protéines autres que les farines de poissons. Or, de grandes quantités de protéines végétales existent sous la forme de sous-produits agro-industriels non valorisés dans l'alimentation humaine qui pourraient remplacer partiellement, voire totalement, ces farines de poissons dans l'élevage piscicole. Quant à l'aspect intégré de la pisciculture, il faut, pour y parvenir, favoriser l'utilisation de sous-produits disponibles sur place, afin de ne pas reporter le coût du prix d'achat des farines de poissons sur l'importation de sous-produits spécifiques. Nous avons donc cherché à démontrer qu'il était possible d'utiliser les sous-produits agro-industriels disponibles au Rwanda dans l'alimentation du bon convertisseur de protéines végétales en protéines animales qu'est le poisson-chat africain, *Clarias gariepinus*. Il s'agit d'une espèce qui présente un taux de croissance rapide et qui supporte aisément des conditions environnementales peu favorables à l'élevage d'espèces plus exigeantes, conditions qui prévalent dans la plupart des pays en voie de développement. Ce poisson est de plus fortement apprécié par les populations locales.

D'un point de vue zootechnique, il ressort de nos expériences que le tourteau de tournesol peut remplacer à 50 % (R1) la farine de poissons (FM), et que les résultats obtenus sont même meilleurs, bien que statistiquement non différents, lorsque celui-ci est supplémente part de la farine de haricot (R3). Il est par ailleurs possible de remplacer totalement la farine de poissons par des sous-produits végétaux en combinant le tourteau de tournesol, la farine de haricot et le tourteau d'arachide. Nous parvenons de la sorte, grâce au tourteau d'arachide riche en protéines, à garder un niveau protéique de notre aliment de l'ordre de 40 %, ce qui convient parfaitement pour l'élevage du *Clarias*, et un bon profil en acides aminés puisque ces différents sous-produits végétaux se supplémentent entre eux pour pallier leur déficience respective en acides aminés indispensables. Ainsi, le tourteau d'arachide a, malgré sa polydéficience en acides aminés, une teneur élevée en arginine, le tourteau de tournesol est quant à lui riche en méthionine et en arginine, mais déficient en lysine, et la farine de haricot est quant à elle pauvre en acides aminés soufrés (méthionine et cystéine) et, dans une moindre mesure en tryptophane, mais supplémente efficacement la déficience en lysine des tourteaux d'arachide et de tournesol. Le mélange de ces trois ingrédients, combinés au décortilage des graines de tournesol, permet d'obtenir un aliment (R6) dont l'efficacité n'est pas significativement différente de celle obtenue avec notre meilleur régime, soit le régime R3, en ce qui concerne le taux de croissance spécifique et l'efficacité de conversion alimentaire. Le décortilage des graines de tournesol permet d'en diminuer la teneur en fibre d'environ 30 % et d'en augmenter, en théorie, la digestibilité. La digestibilité des aliments fait en outre l'objet d'une étude actuelle. Bien que le gain de poids et le poids moyen final des poissons nourris avec ce régime 6 soient significativement différents de ceux obtenus avec le régime R3, ils ne le sont pas de ceux obtenus avec les régimes R1, R2 et R4 contenant eux aussi de la farine de poissons (25 ou 15 % de FM). Si nous nous penchons maintenant sur les critères d'efficacité des nutriments, soit le coefficient d'efficacité protéique et les taux de rétention protéique et énergétique apparents, nous observons à nouveau que les meilleurs résultats sont obtenus avec le régime R3, mais que les valeurs calculées pour le régime R6 sont tout à fait satisfaisantes et non significativement différentes de celles du R3. Ces observations sont d'un grand intérêt puisqu'elles nous permettent de conclure que la farine de poissons peut être fortement diminuée dans la formulation d'aliments pour l'élevage du poisson-chat africain, voire

totallement exclue à condition que les sources de protéines végétales alternatives utilisées dans ces formulations soient judicieusement combinées entre elles afin d'assurer un profil en acides aminés qui répond aux besoins indispensables de cette espèce.

Les teneurs en facteurs antinutritionnels des ingrédients utilisés dans le cadre de notre expérience ne diffèrent pas significativement les uns des autres. Par ailleurs, les prétraitements (trempage ou décortilage) du tourteau de tournesol n'ont pas d'effet significatif sur ses concentrations en facteurs antinutritionnels, excepté en ce qui concerne la teneur en phytates du tourteau de tournesol décortiqué qui diffère significativement de celle dosée dans ce même tourteau non décortiqué. L'intérêt des résultats de nos dosages réside plutôt dans le fait que les teneurs en facteurs antitrypsiques et en phytates des aliments R4, R5 et R6 contenant 15 et 0 % de farine de poissons sont supérieures à celles des trois premiers régimes, mais qu'en dehors des valeurs des paramètres zootechniques et biochimiques obtenues pour le régime R5, celles du R4 et du R6 ne semblent pas être significativement affectées par leurs teneurs plus élevées en ces deux facteurs antinutritionnels. Nous pouvons donc en conclure que, bien que la teneur en facteurs antinutritionnels de nos aliments augmentent avec des taux d'inclusion de sous-produits végétaux plus élevés, celle-ci n'affectent apparemment pas l'efficacité de ces aliments, et que lorsque nous comparons les résultats obtenus pour les régimes R4, R5 et R6, respectivement, nous en arrivons à la conclusion que la farine de poissons peut être totalement exclue de la formulation de l'aliment, et que seul le décortilage semble avoir un effet significatif sur l'efficacité de l'aliment, les teneurs en facteurs antinutritionnels de ces régimes R5 et R6 étant similaires. Notons également que cette expérience ayant été réalisée en circuit fermé, il n'y eu aucun apport extérieur en protéines et autres nutriments, et la croissance observées des poissons n'est due qu'au seul apport d'aliment.

Les perspectives consécutives à cette étude sont multiples. Il serait tout d'abord intéressant d'étudier la manière dont seraient modifiés nos résultats si les juvéniles de *Clarias* étaient élevés en bassins extérieurs, l'apport d'une nourriture endogène au plan d'eau permettant peut-être d'obtenir des résultats meilleurs encore. Nous avons également fait allusion à l'importance de l'alimentation lipidique et de la possibilité de modifier les profils en acides gras de nos poissons en intégrant tel ou tel type d'huile dans un aliment. Il serait donc intéressant d'étudier le profil en acides gras de poissons nourris avec ces différents régimes. Il serait également intéressant d'observer l'impact possible de ces aliments sur les capacités reproductives d'adultes de *Clarias* nourris toute leur vie avec ces derniers, afin de s'assurer que les bons paramètres de croissance et d'efficacité alimentaire observés avec nos aliments ne le soient pas au détriment des capacités reproductives des poissons adultes. En effet, les aliments à base de dérivés de végétaux renferment souvent des phyto-oestrogènes, substances connues pour leurs effets aversifs sur le développement normal des gonades des poissons et sur leur reproduction.

Références bibliographiques

- Abdel-Warith, Russell, P. M. et Davies, S. J. (2001). Inclusion of a commercial poultry by-product meal as a protein replacement of fish meal in practical diets for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture Research*, **32**: 296-305.
- Adamek, Z. et Sukop, I. (1995). Summer outdoor culture of African catfish (*Clarias gariepinus*) and tilapias (*Oreochromis niloticus* and *O. aureus*). *Aquat. Living Resour.*, **8**: 445-448.
- Adrian, J. et Jacquot, R. (1968). *Valeur alimentaire de l'arachide et de ses dérivés*. G.-P. Maisonneuve et Larose: Paris (Ve), 1245 p.
- Aganda, A. A. et Mosase, K. W. (2001). Tannin content, nutritive value and dry matter digestibility of *Lonchocarpus capassa*, *Zizyphus mucronata*, *Sclerocarya birrea*, *Kirkia acuminata* and *Rhus lancea* seeds. *Animal Feed Science and Technology*, (91): 107-113.
- Almazan-Rueda, P., Schrama, J. W. et Verreth, J. A. J. (2004). Behavioural responses under different feeding methods and light regimes of the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles. *Aquaculture*, **231** (1-4): 347-359.
- Alonso, R., Aguirre, A. et Marzo, F. (2000). Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry*, **68**: 159-165.
- Alonso, R., Orué, E. et Marzo, F. (1998). Effects of extrusion and conventional processing methods on protein and antinutritional factors content in pea seeds. *Food Chemistry*, **63** (4): 505-512.
- Baldi, G. et Salamini, F. (1973). Variability of Essential Amino Acid Content in Seeds of 22 *Phaseolus* Species. *Theoretical and Applied Genetics*, **43**: 75-78.
- Balogun, A. M. et Ologhobo, A. D. (1989). Growth performance and nutrient utilization of fingerling *Clarias gariepinus* (Burchell) fed raw and cooked soybean diets. *Aquaculture*, **76**: 119-126.
- Baras, E. et d'Almeida, A. F. (2001). Size heterogeneity prevails over kinship in shaping cannibalism among larvae of sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. *Aquatic Living Ressources*, **14**: 251-256.
- Baras, E. et Jobling, M. (2002). Dynamics of intracohort cannibalism in cultured fish. *Aquaculture Research*, **33**: 461-467.
- Baudoin, J.-P. et Maquet, A. (1999). Improvement of protein and amino acid contents in seeds of food legumes. A case study in *Phaseolus*. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **3** (4): 220-224.
- Bergmeyer, H. U. (1965). *Methods of Ezymatic Analysis*. Academic Press: New York, 555 p.
- Billard, R., Pauw, N. D., Micha, J. C., Salomoni, C. et Verreth, J. (1990). *The impact of aquaculture in rural management* In European aquaculture society. Special publication 12. European aquaculture society: Bredene, Belgium, p 57-91.
- Bruton, M. N. (1996). Alternative life-history strategies of catfishes. *Aquatic Living Ressources*, **9**: 35-41.
- Bruton, M. N. (1979). The breeding biology and early development of *Clarias gariepinus* (Pisces : *Clariidae*) in lake Sibaya, South Africa, with a review of breeding in species of the subgenus *Clarias*. *Trans. Zool. Soc. Lond.*, **35**: 1-45.
- Chavan, U. D., McKenzie, D. B., Amorowicz, R. et Shahidi, F. (2003). Phytochemical components of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.). *Food Chemistry*, **81**: 61-71.
- Christensen, M. S. (1981). Preliminary tests on the suitability of coffee pulp in the diets of common carp (*Cyprinus carpio* L.) and African catfish (*Clarias mossambicus* Peters). *Aquaculture*, **25**: 235-242.

- Clay, D. (1979). Population biology, growth and feeding of African catfish (*Clarias gariepinus*) with special reference to juveniles and their importance in fish culture. *Arch. Hydrobiol.*, **87** (4): 453-482.
- Clay, D. (1979). Sexual maturity and fecundity of the African catfish (*Clarias gariepinus*) with an observation on the spawning behavior of the Nile catfish (*Clarias lazera*). *Zool. J. Linn. Soc.*, **65**: 351-365.
- Clay, D. (1981). Utilization of plant materials by juvenile African catfish (*Clarias gariepinus*) and its importance in fish culture. *J. Limnol. Soc. sth. Afr.*, **7** (2): 47-56.
- Conceição, L. E. C., Dersjant-Li, Y. et Verreth, J. A. J. (1998). Cost of growth in larval and juvenile African catfish (*Clarias gariepinus*) in relation to growth rate, food intake and oxygen consumption. *Aquaculture*, **161**: 95-106.
- Das, A. B. et Ratha, B. K. (1996). Physiological adaptative mechanisms of catfish (*Siluroidei*) to environmental changes. *Aquatic Living Ressources*, **9**: 135-143.
- De Graaf, G. et Janssen, J. (1996). *Artificial Reproduction and Pond Rearing of the African Catfish Clarias Gariepinus in Sub-Saharan Africa - A Handbook*. FAO: Rome, 73 p.
- Degani, G., Ben-Zvi, Y. et Levanon, D. (1989). The effect of different protein levels and temperatures on feed utilization, growth and body composition of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture*, **76**: 293-301.
- Dias, J. P. (1999). *Lipid deposition in rainbow trout (Oncorhynchus mikiss) and European seabass (Dicentrarchus labrax), nutritional regulation of lipogenesis*. Thèse. Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar, Porto, 186 p.
- Dy Penaflorida, V. (1992). A practical method of extracting mimosine from ipil-ipil, *Leucaena leucocephala*, leaves and its effect on survival and growth of *Penaeus monodon* juveniles. *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, **44** (1): 24-31.
- Egounlety, M. et Aworth, O. C. (2003). Effect of soaking, dehulling and fermentation with *Rhizopus oligosporus* on the oligosaccharides, trypsin inhibitor, phytic acid and tannins of soybean (*Glycine max* Merr.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and groundbean (*Macrotyloma geocarpa* Harms). *Journal of Food Engineering*, **56**: 249-254.
- Enujiugha, V. N. et Ayodele-Oni, O. (2003). Evaluation of nutrients and some anti-nutrients in lesser-known, underutilized oilseeds. *International Journal of Food Science and Technology*, **38**: 525-528.
- Fagbenro, O. A. (1999b). Comparative evaluation of heat-processed Winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*) meals as partial replacement for fish meal in diets for the African catfish (*Clarias gariepinus*). *Aquaculture*, **170**: 297-305.
- Fagbenro, O. A. (1999a). Use of full-fat winged bean *Psophocarpus tetragonolobus* seed meal as a protein feedstuff in fish-meal free diets for African catfish *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Nutrition*, **5**: 199-204.
- Fagbenro, O. A. et Bello-Olusoji, O. A. (1997). Preparation, nutrient composition and digestibility of fermented shrimp head silage. *Food Chemistry*, **60** (4): 489-493.
- Fagbenro, O. A. et Davies, S. J. (1999). Use of soybean flour (dehulled, solvent-extracted soybean) as a fish meal substitute in practical diets for African catfish, *Clarias garepinus* (Burchell 1822): growth, feed utilization and digestibility. *J. Appl. Ichthyol.*, **17** (64-69):
- Fagbenro, O. A. et Fasakin, E. A. (1996). Citric-acid-ensiled poultry viscera as protein supplement for catfish (*Clarias gariepinus*). *Bioresource Technology*, **58**: 13-16.
- Fasakin, E. A., Balogun, A. M. et Ajayi, O. O. (2003). Evaluation of full-fat and defatted maggot meals in the feeding of *Clarias gariepinus* fingerlings. *Aquaculture Research*, **34**: 733-738.

- Febles, C. I., Arias, A., Hardisson, A., Rodriguez-Alvarez, C. et Sierra, A. (2001). Phytic acid level in infant flours. *Food Chemistry*, **74**: 437-441.
- Fink, S. et Fink, W. L. (1981). Interrelationships of the ostariophysan fishes (*Teleostei*). *Zool. J. Linn. Soc.*, **72**: 297-358.
- Fish, B. C. et Thompson, L. U. (1991). Lectin-tannin interactions and their influence on pancreatic amylase activity and starch digestibility. *J. Agric. Food Chem.*, **39**: 727-731.
- Francis, G., Makkar, H. P. S. et Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, **199**: 197-227.
- Giri, S. S., Sahoo, S. K., Sahu, A. K. et Mukhopadhyay, P. K. (2000). Growth, feed utilisation and carcass composition of catfish *Clarias batrachus* (Linn.) fingerlings fed on dried fish and chicken viscera incorporated diets. *Aquaculture Research*, **31**: 767-771.
- Goos, H. J. T. et Richter, C. J. J. (1996). Internal and external factors controlling reproduction in the African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquatic Living Ressources*, **9**: 45-58.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P. et Métailler, R. (1999). *Nutrition et alimentation des poissons et crustacés*. INRA: Paris, 487 p.
- Hardy, R. W. (1999). Fish, feeds, and nutrition - Grains and their by-products. *Aquaculture Magazine*, **25** (6): 54-58.
- Haylor, G. S. et Mollah, M. F. A. (1995). Controlled hatchery production of African catfish, *Clarias gariepinus* : the influence of temperature on early development. *Aquat. Living Resour.*, **8**: 431-438.
- Hecht, T. (1996). An alternative life history approach to the nutrition and feeding of *Siluroidei* larvae and early juveniles. *Aquatic Living Ressources*, **9**: 121-133.
- Hecht, T., Oellermann, L. et Verheust, L. (1996). Perspectives on clariid catfish culture in Africa. *Aquatic Living Ressources*, **9**: 197-206.
- Hecht, T. et Pienaar, A. G. (1993). A Review of Cannibalism and its Implications in Fish Larviculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, **24** (2): 246-260.
- Hecht, T., Uys, W. et Britz, P. (1988). *The culture of sharptooth catfish (Clarias gariepinus) in southern Africa*. South African Natural Science Progress Report 153, 133 p.
- Henken, A. M., Machiels, M. A. M., Dekker, W. et Hogendoorn, H. (1986). The effect of dietary protein and energy content on growth rate and feed utilization of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture*, **58**: 55-74.
- Henrotte, E. (2004). *Effet de la quantité de lipides et de l'apport d'antioxydants à modes d'action différents sur la croissance, l'état de peroxydation et la teneur lipidique chez la perche (Perca fluviatilis, L.)*. Mémoire de fin de licence. Université Notre-Dame de la Paix, Namur, 55 p.
- Hernandez-Infante, M., Herrador-Pena, G. et Sotelo-Lopez, A. (1979). Nutritive value of Two Different Beans (*Phaseolus vulgaris*) Spplemented with Methionine. *J. Agric. Food Chem.*, **27** (5): 965-968.
- Hertrampf, J. W. et Piedad-Pascual, F. (2000). *Handbook on Ingredients fot Aquaculture Feeds*. Kluwer Academic: Dordrecht, 573 p.
- Hishamunda, N. et Curtis, M. J. (1998). Evaluation of small-scale aquaculture with intra-rural household trade as an alternative enterprise for limited resource farmers: the case of Rwanda. *Food Policy*, **23** (2): 143-154.
- Hoffman, L. C. et Prinsloo, J. F. (1995). Genetic and nutritional influence on the total lipid fatty acid profile of *Clarias gariepinus* muscle. *Aquat. Living Resour.*, **8**: 415-421.
- Hoffman, L. C., Prinsloo, J. F. et Rukan, G. (1997). Partial replacement of fish meal with either soybean meal, brewers yeast or tomato meal in the diets of African sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. *Water SA*, **23**: 181-186.

- Hoffman, L. C., Prinsloo, J. F. et Theron, J. (1994). Comparison of fish gonads and fish meal as major components in the diets of young African sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell). *South African Journal of Aquatic Science*, **29** (1/2): 79-87.
- Hogendoorn, H. (1979). Controlled propagation of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.) : I. Reproductive biology and field experiments. *Aquaculture*, **17**: 323-333.
- Hogendoorn, H. (1980). Controlled propagation of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.) : III. Feeding and growth of fry. *Aquaculture*, **21**: 233-241.
- Hogendoorn, H. (1983). Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.) : III. Bioenergetic relations of body weight and feeding level. *Aquaculture*, **35**: 1-17.
- Hogendoorn, H. *et al.* (1983). Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.) : II. Effects of body weight, temperature and feeding level in intensive tank culture. *Aquaculture*, **34** (3-4): 265-285.
- Hogendoorn, H. et Vismans, M. M. (1980). Controlled propagation of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.) : II. Artificial reproduction. *Aquaculture*, **21**: 39-53.
- Hossain, M. A. R., Batty, R. S., Haylor, G. S. et Beveridge, M. C. M. (1999). Diet rhythms of feeding activity in African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture Research*, **30**: 901-905.
- Hossain, M. A. R., haylor, G. S. et Beveridge, M. C. M. (2001). Effect of feeding time and frequency on the growth and feed utilization of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) fingerlings. *Aquaculture Research*, **32**: 999-1004.
- Hossain, M. A. R., Haylor, G. S. et Beveridge, M. C. M. (2000). The influence of food particle size on gastric emptying and growth rates of fingerling African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell, 1822. *Aquaculture Nutrition*, **6**: 73-76.
- Huisman, E. A. et Richter, C. J. J. (1987). Reproduction, growth, health control and aquacultural potential of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture*, **63**: 1-14.
- Jacquot, R. et Ferrando, R. (1957). *Les tourteaux*. Editions Vigots Frères: Paris, 6e, 315 p.
- Kanangire, K. (2001). *Effets de l'alimentation des poissons avec Azolla sur la production d'un écosystème agro-piscicole en zones marécageuses au Rwanda*. Diss. doct. Sciences. Université Notre-Dame de la Paix, Namur, 220 p.
- Lazard, J. et Oswald, M. (1995). Association silure africain-tilapia : polyculture ou contrôle de la reproduction? *Aquat. Living Resour.*, **8**: 455-463.
- Legendre, M., Linhart, O. et Billard, R. (1996). Spawning and management of gametes, fertilized eggs and embryos in *Siluroidei*. *Aquatic Living Ressources*, **9**: 59-80.
- Legendre, M., Teugels, G. G., Cauty, C. et Jalabert, B. (1992). A comparative study on morphology, growth rate and reproduction of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840), and their reciprocal hybrids (Piscies, *Clariidae*). *Journal of Fish Biology*, **40**: 59-79.
- Lin, C. K. et Diana, J. S. (1995). Co-culture of catfish (*Clarias macrocephalus* X *C. gariepinus*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in ponds. *Aquat. Living Resour.*, **8**: 449-454.
- Machiels, M. A. M. (1987). A dynamic simulation model for growth of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). IV : The effect of feed formulation on growth and feed utilisation. *Aquaculture*, **64**: 305-323.
- Machiels, M. A. M. et Hencken, A. M. (1987). A dynamic simulation model for growth of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). II : Effect of feed composition on growth and energy metabolism. *Aquaculture*, **60**: 33-63.

- March, J. G., Villacampa, A. I. et Grases, F. (1995). Enzymatic-spectrophotometric determination of phytic acid with phytase from *Aspergillus ficuum*. *Analytica Chimica Acta*, **300**: 269-272.
- Micha, J. C. (1973). *Etude des populations picicoles de L'Ubanguï et tentative de sélection et d'adaptation de quelques espèces à l'étang de pisciculture*. Thèse. ULg, Liège, 110 p.
- Molnar, J. J., Rubagumya, A. et Adjavon, V. (1991). The sustainability of aquaculture as a farm enterprise in Rwanda. *Journal of Applied Aquaculture*, **1** (2): 37-62.
- Ng, W.-K., P.-K. Lim et Boey, P.-L. (2003). Dietary lipid and palm oil source affects growth, fatty acid composition and muscle alpha-tocopherol concentration of African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture*, **215**: 229-243.
- Ng, W.-K., Wang, Y., Ketchimenin, P. et Yuen, K.-H. (2004). Replacement of dietary fish oil with palm fatty acid distillate elevates tocopherol and tocotrienol concentrations and increases oxidative stability in the muscle of African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture*, **233**: 423-437.
- Nyina-wamwiza, L. (2003). *La valorisation des sous-produits agro-industriels dans l'alimentation du poisson-chat africain, Clarias gariepinus (Burchell 1822), au Rwanda: influence sur les performances de croissance et de reproduction*. Comm. pers. Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur, xx p.
- Onwuliri, V. A. et Obu, J. A. (2002). Lipids and other constituents of *Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris* in northern Nigeria. *Food Chemistry*, **78**: 1-7.
- Peres, H., Lim, C. et Klesius, P. H. (2003). Nutritionnal value of heat-treated soybean meal for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, **225**: 67-82.
- Pillay, T. V. R. (1990). *Aquaculture : principles and practices*. Fishing New Books: Oxford, 575 p.
- Pisulewska, E. et Pisulewski, P. M. (2000). Trypsin inhibitor activity of legume seeds (peas, chickling vetch, lentils, and soya beans) as affected by the technique of harvest. *Animal Feed Science and Technology*, **86**: 261-265.
- Pouomogne, V. (1995). Comparaison du son de riz et du tourteau d'arachide pour la croissance des juvéniles du poisson-chat africain *Clarias gariepinus*. *Aquat. Living Resour.*, **8**: 403-406.
- Prinsloo, J. F. et Schoobee, H. J. (1987). Utilisation of chicken offal in the production of the African sharptooth catfish *Clarias gariepinus* in the Transkei. *Water SA*, **13** (2): 129-132.
- Prinsloo, J. F., Schoonbee, H. J., Walt, I. H. V. d. et Pretorius, M. (1989). Production of the sharptooth catfish *Clarias gariepinus* (Burchell) and the European common carp *Cyprinus carpio* L. with artificial feeding in polyculture in maturation ponds at Seshego, Lebowa. *Water SA*, **15** (1): 43-48.
- Pusztai, A., Clarke, E. M. W., King, T. P. et Stewart, J. C. (1979). Nutritional Evaluation of Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris*): Chemical Composition, Lectin Content and Nutritional Value of Selected Cultivars. *J. Sci. Food. Agric.*, **30**: 843-848.
- Pusztai, A., Grant, G. et Palmer, R. (1975). Nutritional Evaluation of Kidney Bean (*Phaseolus vulgaris*): the Isolation and Partial Characterisation of Toxic Constituents. *J. Sci. Fd. Agric.*, **26**: 149-156.
- Riehl, R. et Appelbaum, S. (1991). A unique adhesion apparatus on the eggs of the catfish *Clarias gariepinus* (Teleost, Clariidae). *Japanese Journal of Ichthyology*, **38** (2): 191-197.
- Robinson, E. H. et Li, M. H. (1995). Catfish nutrition. Part I : Nutrients and feeds. *Aquaculture Magazine*, **21** (3): 44-53.

- Sauvant, D., Perez, J.-M. et Tran, G. (2002). *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage (réf. non complète)*. INRA: Paris, 301 p.
- Sauvant, D., Perez, J.-M. et Tran, G. (2002). *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevages*. xx.
- Schofield, P., Mbugua, D. N. et Pell, A. N. (2001). Analysis of condensed tannins: a review. *Animal Feed Science and Technology*, **91**: 21-40.
- Siddhuraju, P., Osoniyi, O., Makkar, H. P. S. et Becker, K. (2002). Effect of soaking and ionising radiation on various antinutritional factors of seeds from different species of an unconventional legume, *Sesbania* and a common legume, green gram (*Vigna radiata*). *Food Chemistry*, **79**: 273-281.
- Smith, C. et Reay, P. (1991). Cannibalism in teleost fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **1**: 41-64.
- Stickney, R. R. (1991). Catfish culture. *World aquaculture*, **22** (2): 44-54.
- Tacon, A. G. J. (1996). Feeding tomorrow's fish. *World aquaculture*, **27** (3): 20-32.
- Talamond, P., Doulebeau, S., Rochette, I., Guyot, J.-P. et Treche, S. (2000). Anion-exchange high-performance liquid chromatography with conductivity detection for the analysis of phytic acid in food.
- Teugels, G. G. (1996). Taxonomy, phylogeny and biogeography of catfishes (*Ostariophysi, Siluroidei*): an overview. *Aquatic Living Ressources*, **9**: 9-34.
- Uys, W. et Hecht, T. (1985). Evaluation and preparation of an optimal dry feed for the primary nursing of *Clarias gariepinus* larvae (pisces: *Clariidae*). *Aquaculture*, **47**: 173-183.
- Van Weerd, J. H. (1995). Nutrition and growth in *Clarias* species - a review. *Aquat. Living Resour.*, **8**: 395-401.
- Van Weerd, J. H., Khalaf, K. H. A., Aartsen, F. J. et Tijssen, P. A. T. (1999). Balance trials with African catfish *Clarias gariepinus* fed phytase-treated soybean meal-based diets. *Aquaculture Nutrition*, **5**: 135-192.
- Viveen, W. J. A. R., Richter, C. J. J., Oordt, P. G. W. J. v., Janssen, J. A. L. et Huisman, E. A. (1985). *Manuel pratique de pisciculture du poisson-chat africain (Clarias gariepinus)*. Département de Pisciculture et de Pêche de l'Université Agronomique de Wageningen, 91 p.
- Webster, C. D. et Lim, C. (2002). *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*. CABI Wallingford: Oxon, 418 p.
- Webster, C. D., Tidwell, J. H., Tiu, L. S. et Yancey, D. H. (1995). Use of soybean meal as partial or total substitute of fish meal in diets for blue catfish (*Ictalurus furcatus*). *Aquat. Living Resour.*, **8**: 379-384.
- Wilson, R. P. et Moreau, Y. (1996). Nutrient requirements of catfishes (*Siluroidei*). *Aquatic Living Ressources*, **9**: 103-111.
- Xu, X. et Kestemont, P. (2002). Lipid Metabolism and FA Composition in Tissues of Eurasian Perch *Perca fluviatilis* as Influenced by Dietary Fats. *Lipids*, **37** (3): 297-304.

Références Internet :

- Hecht, T. (1996). The biology and culture of the African catfish (*Clarias gariepinus*): <http://cdserver2.ru.ac.za/cd/catfish/catfish/>.
- FAO (2001). Database: <http://apps.fao.org/default.jsp>
- www.planetcatfish.com

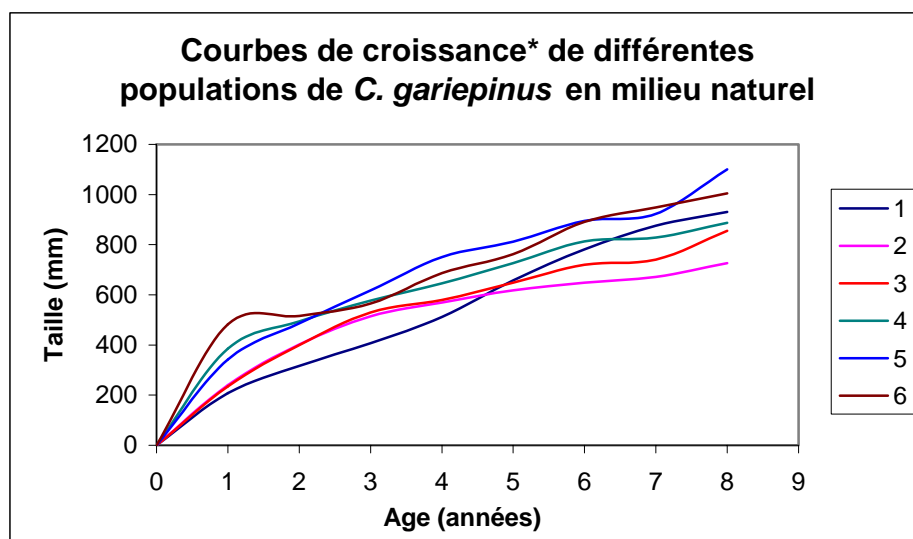


Figure 1.1. : *adapté de Hecht (1996). Signification de la légende : 1 : P. K. le Roux, Dam (Quick et Bruton, 1984) ; 2 : Lake Sibaya (Bruton et Allanson, 1980) ; 3 : Piet Gouws, Dam, Lebowa (Mabitsela, 1981) ; 4 : Incomati River (Potgieter, 1974) ; 5 : Boskop Dam, Tvl ; 6 : Lake Liambezi (Van der Waal, 1976).

Tableau 1.3. Exigences écologiques de *C. gariepinus*.

Variables physicochimiques	Valeurs rapportées	Références
T (°C)	27,0	Viveen <i>et al.</i> , 1985
	28,0-30,0	Hecht <i>et al.</i> , 1988
	17-32 (2)	Hecht <i>et al.</i> , 1988
O ₂ (mg.l ⁻¹ ou % de saturation)	≥ 3,0	Viveen <i>et al.</i> , 1985
	> 3,0 ± 0,7	Hecht <i>et al.</i> , 1988
PH	7,0	Viveen <i>et al.</i> , 1985
	5,0-9,0	www.planetcatfish.com
NH ₃ (mg.l ⁻¹ ou ppm)	2,3-6,5 (LC ₅₀ -96h)	Hecht <i>et al.</i> , 1988
	0,05 ppm	Viveen <i>et al.</i> , 1985
NO ₂ ⁻ (ppm)	< 250 ppm	Viveen <i>et al.</i> , 1985

Tableau 1.2. Effets des principaux facteurs affectant le cannibalisme chez *C. gariepinus* (source : Baras et Jobling, 2002).

Facteurs étudiés	Expériences	Observations	Référence
L'hétérogénéité de taille	Etude de l'impact de l'apparentée génétique sur le cannibalisme menée avec des progénitures mélangées ou non de poissons-chats africains.	Les taux de cannibalisme des progénitures mélangées sont intermédiaires à ceux observés pour des progénitures pures, et ces différences sont largement expliquées par l'hétérogénéité initiale de taille. Si les juvéniles non apparentés ont la même taille, cette tendance cannibale peut-être amoindrie.	Baras et Almeida, 2001 ; Prinsloo <i>et al.</i> , 1989.
La densité de stockage	Etude de l'impact des fortes densités d'élevage sur le cannibalisme.	Les fortes densités de stockage rendent le cannibalisme plus fréquent du fait que la probabilité de rencontrer une proie est accrue. Cela s'applique plus particulièrement aux jeunes larves et aux espèces qui montrent un comportement de contact et consommation à un âge plus avancé telles que les poissons-chats de la famille des <i>Clariidae</i> .	Hetch et Appelbaum, 1988 ; Haylor, 1991.
	Etude de l'impact des faibles densités d'élevage sur le cannibalisme.	Maintenir les poissons à de faibles densités de stockage peut favoriser la cannibalisme. Le comportement agressif (défense territoriale, dominance hiérarchique, etc.) est plus important à de faibles densités de stockage et cela persiste jusque tard dans la phase juvénile.	Hecht et Huys, 1997.
La structure environnementale	Déterminer l'importance des refuges physiques sur le comportement cannibale pour des poissons-chats africains maintenus à de faibles densités de stockage avec une luminosité correspondant à celle du jour.	Lorsque les poissons sont élevés dans le noir ou à de faibles densités de stockage, la compétition pour des abris, l'agressivité et le cannibalisme sont diminués. De plus, la profondeur des unités de culture influence le taux de cannibalisme parmi les poissons-chats.	Britz et Pienaar, 1992 ; Baras <i>et al.</i> , 1999 ; Baras, 1999a.
La température	Etude de l'influence de la température sur le cannibalisme.	Au plus la température est élevée, au plus les risques de comportements cannibales se font sentir puisque les besoins des poissons en nourriture sont accrus avec l'augmentation de la température. Une diminution de la température après la distribution du dernier repas diminuerait le métabolisme, réduirait l'appétit des poissons, et diminuerait l'activité et l'agressivité de ces derniers.	Jobling, 1994 ; Kestemont et Baras, 2001 ; Baras et Jobling, 2002.
L'intensité lumineuse, la durée de la période d'éclairement et la manière dont sont éclairés les bassins d'élevage	Etude de l'influence de l'intensité lumineuse, de la durée de la période d'éclairement et de la manière dont sont éclairés les bassins d'élevage sur le cannibalisme.	Le cannibalisme (qui dépend du sens utilisé durant la recherche et la capture d'une proie) est fortement réduit chez le poisson-chat africain élevé à de faibles intensités lumineuses. De plus, la manière dont sont éclairés les bassins d'élevage et le rapport entre la durée de la période d'éclairement et celle de la période d'obscurité modifient ce comportement cannibale.	Britz et Pienaar, 1992 ; Bristow et Summerfelt, 1994 ; Hetch et Appelbaum, 1988 ; Baras <i>et al.</i> , 1999 ; Britz et Pienaar, 1992 ; Baras <i>et al.</i> , 1998.
La nourriture et son planning de distribution	Etude de l'impact de l'accessibilité à la nourriture et du planning de distribution de cette nourriture.	Toute restriction de l'accessibilité à la nourriture est susceptible de déclencher ou d'augmenter le cannibalisme. Cela reste vrai pour des aliments qui sont de mauvaise qualité, mal formulés ou mal acceptés. De plus, la nourriture devrait être distribuée selon la demande des poissons.	Smith et Ray, 1991 ; Hossain <i>et al.</i> , 2001.

Tableau 1.12. Besoins estimés en protéines, lipides, glucides et énergie ainsi que le rapport P/ED de différentes espèces de poissons-chats.

Facteur nutritionnel	Espèces	Besoins	Références
Protéines (g/kg)	<i>Ictalurus punctatus</i>	250-360	Wilson et Moreau (1996)
	<i>C. batrachus x C. gariepinus</i>	365	Giri <i>et al.</i> (2003)
	<i>Clarias batrachus</i>	400	Singh et Singh (1992)
	<i>Clarias gariepinus</i>	> 400	Machiels et Henken (1985)
		400-420	Uys (1989)
		230	Balogun et Ologhobo (1989)
Lipides (g/kg)	<i>Heterobranchus longifilis</i>	350	Legendre (1992)
	Poissons en général	50-180	Hertrampf et Piedad-Pascual (2000)
	<i>Ictalurus punctatus</i>	50-60	Wilson et Moreau (1996)
	<i>Clarias gariepinus</i>	110	Machiels et Henken (1985)
Glucides digestibles (g/kg)	Siluriformes	180-200	Guillaume <i>et al.</i> (1999)
	Siluriformes	< 350	Guillaume <i>et al.</i> (1999)
	<i>Ictalurus punctatus</i>	≥ 250	Robinson et Li (1995) ; Webster et Lim (2002)
Energie (kJ/g)	<i>Clarias gariepinus</i>	150-350	Balogun et Ologhobo (1989) ; Van Weerd (1995)
	<i>Ictalurus punctatus</i>	11,7 ED	Webster et Lim (2002)
		13 EM	Machiels et Henken (1985)
		12,0 ED	Hecht <i>et al.</i> (1988)
		EB	13-17 Van Weerd (1995)
P/E (mg de protéines / kJ ED)	<i>Clarias gariepinus</i>	18,1	Hecht <i>et al.</i> (1997)
		20,3-23,2	Webster et Lim (2002)
		31	Machiels et Henken, (1985)
		24	Henken <i>et al.</i> (1986)
	<i>Ictalurus punctatus</i>	31-36	Degani <i>et al.</i> (1989)

EM : énergie métabolisable ; ED : énergie digestible ; EB : énergie brute.

P/E : rapport protéines-énergie.

Tableau 1.15. Résultats de quelques études dans lesquelles des sous-produits agro-industriels ou d'autres produits de substitution ont été utilisés en tant qu'ingrédients de substitution des farines et huiles de poissons dans des aliments pour *Clarias gariepinus*.

Ingrédient de substitution	IR	CP	FMR	Effets biologiques	Références
Farine de viscères de poulets, ensilés avec de l'ac. citrique, et tourteau de soja (prop. 85:15) en remplacement des farines de poulets et/ou des farines de menhaden.	15 ou 30	59,1	0 et 50	Les résultats indiquèrent que la farine de viscères de poulets ensilés pouvait être incluse à un taux de 30 % dans un aliment pour <i>Clarias gariepinus</i> sans qu'il n'y ait d'effet quel qu'il soit sur les réponses de croissance, l'efficacité d'utilisation alimentaire ou la qualité des carcasses des poissons.	Fagbenro et Fasakin (1996)
Abats de poulets et jeunes poulets entiers morts durant leur manipulation au sein d'une chaîne de production de poulets rôtis.	100	-	100	La production de <i>Clarias</i> , stockés dans 2 étangs à une densité initiale de 5875 individus ha ⁻¹ pour une biomasse correspondante de 1388,2 kg ha ⁻¹ et nourris entre 2,7 et 3,8 % de leur poids frais, excède les deux tonnes après 75 jours d'élevages. Leur taux de conversion alimentaire moyen durant cette période est de 4,6 (min. : 2,6 ; max. : 7,9) et aurait été meilleur si seulement de la chair de poulet eu été utilisée. Les bons taux de croissance obtenus suggèrent que les poissons-chats africains peuvent utiliser efficacement les déchets de poulets.	Prinsloo et Schoobee (1987)
Farines de pois carrés avec différents niveaux de méthionine en supplément (0 (R2), 5 (R3), 10 (R4) et 15 (R5) g.kg ⁻¹ , respectivement).	60	41	100	Les farines de pois carrés peuvent remplacer totalement les farines de menhaden tout en conservant des performances zootechniques similaires au régime contrôle (R1 : aliment traditionnel) à condition que l'aliment soit supplémenté avec un minimum de 5 g de méthionine par kg d'aliment. Les gains de poids individuel journaliers (WG) et les taux de croissance spécifique (SGR) sont significativement différents entre R2 (0,48 g.j ⁻¹ et 2,74 %.j ⁻¹ , respectivement) et les autres régimes (0,58-0,62 g.j ⁻¹ et 2,97-3,05 %.j ⁻¹ , respectivement). Des tendances similaires s'observent pour le taux de conversion alimentaire (FCR) et l'efficacité protéique (PER). Les coefficients de digestibilité protéique et énergétique sont similaires (92,3-82,5 %). En ce qui concerne les poissons nourris avec R2 par rapport à ceux nourris avec les autres régimes, la concentration en protéines des carcasses est plus basse et le contenu en protéine du foie est plus élevé.	Fagbenro (1999a)
Farines de pois carrés rôtis ou autoclavés.	50	40	80	La prise pondérale, le taux de croissance, l'efficacité alimentaire et protéique ainsi que la qualité des carcasses ne sont pas significativement différents des résultats obtenus avec le régime contrôle (aliment traditionnel).	Fagbenro (1999b)
Mélange de tourteau d'arachide et de son de riz selon les proportion 0:100, 20:80, 80:20, 100:0 en g par kilo d'aliment, respectivement	0:100	13,8	100	Le régime contenant 80 % de tourteau d'arachide et 20 % de son de riz se révélait le plus intéressant du point de vue de la croissance (TCS (%.j ⁻¹) = 1,5) et du prix de revient de l'aliment (coût de production en CFA de 1 kg de poisson = 227).	Pouomogne (1995)
	20:80	20,3			
	80:20	39,0			
	100:0	46,4			

Tableau 1.15. : suite

Ingrédient de substitution	IR	CP	FMR	Effets biologiques	Références
Utilisation des gonades gauches ou droites de femelles de <i>C. gariepinus</i> séchées dans un four (GOD) ou dans un lyophilisateur (GVD), respectivement, dans un aliment starter pour les larves de cette espèce.	100	58,1 (GOD) et 60,1 (GVD)	100	Les taux de croissances des larves nourries avec les aliments starters bases de gonades de femelles de <i>Clarias</i> n'étaient pas significativement différents des régimes contrôles (RC A ou B différent par le type de farine de poisson utilisée). Les carcasses Les larves nourries avec des gonades de <i>Clarias</i> présentaient une teneur en lipides significativement plus grande (GOD = 26,47 % poids sec – MS) que celles nourries avec les régimes contrôles (RCA = 13,97 % MS). La composition en acides gras des carcasses était influencée par celle de l'aliment utilisé. La totalité des hépatocytes des larves nourries avec GOD et GVD contenaient des graisses dans leur cytoplasme. (Rem : jours 1 à 20 : plancton uniquement ; jours 21 à 29 : plancton remplacé progressivement par les aliments secs ; jours 29 à 50 : uniquement aliments secs (25% du poids métabolique total).	Hoffman <i>et al.</i> (1994)
Tourteau de soja ayant subi ou non une extrusion supplémentaire (Soy-2 et Soy-1, respectivement)	44 (Soy-1) et 57 (Soy-2)	37,4	21,3 (Soy-1) et 70,2 (Soy-2)	Tous les régimes diffèrent significativement les uns des autres, exception faite pour ceux à base de drèches de brasseries et du mix Soy-1 + drèches. L'ordre décroissant des poids corporels finaux (poids vivants ± ET, g) obtenus avec les différents régimes expérimentaux est le suivant : régime contrôle (284,6 ± 5,2), farine de tomates (261,9 ± 5,3), drèches (222,2 ± 5,7), Soy-1 (220,5 ± 5,2), mixe (201,4 ± 5,5) et Soy-2 (115,3 ± 5,5). Les croissances obtenues dans le cadre de cette étude indiquent que les poissons-chats africains sont capables d'utiliser efficacement des sources de protéines alternatives.	Hoffman <i>et al.</i> (1997)
drèches de brasserie	60		83,0		
farine de tomates	52		46,8		
mixe de Soy-1 + drèches de brasserie (proportion 59:15 en g pour 100 g d'aliment)	74		87,2		
2 régimes expérimentaux à base de pulpe de café mélangée ou non avec du poisson séché émincé	0, 10 ou 30		proportions pulpe de café:FM : 300:0 et 100:100 (g .kg ⁻¹ d'aliment)	La croissance journalière des poissons-chats africains diminua dans tous les cas de 45 % ou plus. Pour atteindre un même poids commercial, les poissons doivent être maintenus deux fois plus longtemps en élevage, ce qui, excepté pour l'aliment à base de pulpe de café très bon marché, double tous les autres coûts de production.	Christensen (1981)
Soja non traité	0, 25, 50, 75, 100	40	-	Pour le soja brut, les meilleures performances de croissances ont été obtenues après incorporation de 25 % de cet ingrédient alors que les résultats étaient faibles avec 100 % de farine de soja brut comme source de protéines. A tous les niveaux, les performances de croissance sont médiocres avec le soja non traité par rapport au soja cuit, et des mortalités élevées sont notées avec 50, 70 et 100 % de soja brut.	Balogun et Ologhobo (1989)
Soja traité thermiquement	25, 50, 75				
Arachide	32 à 65	38,5	100	En général, le gain de poids décroît avec la diminution de farine de poisson dans l'aliment. La farine de coton et la farine de sang donnent de faibles croissances par rapport aux farines de colza et de soja. Par ordre de priorité, les meilleures performances de croissance sont obtenues d'abord avec le soja et le colza puis le coton et enfin l'arachide et le sang.	Machiels, (1987)
Coton	28 à 50				
Farine de sang	7 à 24				
Colza	25 à 49				
Soja	34 à 69				

Tableau 1.15. : suite

Ingrédient de substitution	IR	CP	FMR	Effets biologiques	Références
Tourteaux d'arachide (TA), de soja (TS) et de tournesol (TT) et farine de haricot (FH)	25	40	50	Le SGR le plus médiocre, $2,17 \text{ \%} \cdot \text{j}^{-1}$, fut obtenu avec le régime à base de TT (R3) et le meilleur SGR, $3,37 \text{ \%} \cdot \text{j}^{-1}$, fut obtenu avec le régime à base de FH (R6), celui du régime contrôle (R2) à base de 50 % de farine de poissons étant de $3,10 \text{ \%} \cdot \text{j}^{-1}$. Quant au poids moyen des poissons en fin d'expérience (2 mois), il était de 46 g pour le R6 par rapport à 23 g pour le R3 (pds moy. in. : 6,20 g). Les paramètres de croissance des 2 autres régimes expérimentaux étaient également significativement supérieurs à ceux du R3. Il en va de même pour les critères d'efficacité protéique et énergétique (PER des R 2, 3 et 6 : 3,04, 2,75 et 1,95, respectivement ; REA des R 2, 3 et 6 : 54,1, 44,3 et 30,6 %, respectivement). 3 de ces sous-produits (TA, TS et FH) peuvent remplacer efficacement 50 % de la farine de poissons dans un aliment destiné à l'élevage de <i>C. gariepinus</i> , mais le TT fournit des résultats assez médiocres comparativement aux autres régimes.	Nyina-wamwiza (2003)
Ingrédient de substitution	IR	CP	FOR	Effets biologiques	Références
Substitution de l'huile de poisson par de l'huile de palme (palm oil, PO)	0,00,	36	0 (RC)	La croissance des poissons nourris avec le régime RE1 est significativement meilleure que celle des poissons nourris avec l'aliment RC ne contenant que de l'huile de poisson. Les croissances obtenues avec de plus hauts niveaux de substitution (50, 75 et 100 %) sont intermédiaires entre celles de l'aliment RC et le régime RE1. Les concentration musculaires en α -tocophérol, α -tocotriénol et γ -tocotriénol augmente linéairement avec l'augmentation de la teneur des régimes en PO (de 74,88 à 117,72 $\mu\text{g/g}$ de tissu, de 0,00 à 40,53 $\mu\text{g/g}$ de tissu et de 1,36 à 104,55 $\mu\text{g/g}$ de tissu, respectivement). Les concentrations en thiobarbituriques réagissant à l'acide dans les muscles des poissons diminue significativement avec l'augmentation de la concentration en PO dans les régimes. L'utilisation de PO dans les aliments pour <i>C. gariepinus</i> offre une protection contre la peroxydation des lipides dans les muscles, ce qui signifie une plus longue conservation possible des produits manufacturés issus de son élevage.	Ng <i>et al.</i> (2004)
	1,50		25 (RE1)		
	3,00		50 (RE2)		
	5,50		75 (RE3)		
	6,00		100 (RE4)		

IR (Inclusion rate) : taux d'inclusion de l'ingrédient de substitution (%) ; CP (Crude Protein level): niveau de protéines brutes des régimes (%) ; FMR et FOR (percentage of FishMeal of fish Oil Replaced) : pourcentage total de farine ou d'huile de poissons remplacée par l'ingrédient/l'huile de substitution ; prop. : proportion.

Tableau 1.16. : Composition bromatologique (exprimée en % du produit brut, excepté pour l'énergie brute) des différents ingrédients utilisés dans la formulation des régimes expérimentaux (Onwuliri et Obu, 2002 ; Sauvart *et al.*, 2002).

	T.A. détoxifié, cellulose < 9 % sur brute		T.T. non décortiqué		T.T. décortiqué		Farine de poisson type 65		haricot	
	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.
M.S.	89,6	1,7	88,7	1,4	89,7	1,2	91,7	1,4	95,7	0,13
P. brutes	48,9	3,7	27,7	2,2	33,4	2,2	65,3	1,8	32,1	1,41
M.G. brutes	3,4	2,3	2,0	0,8	1,7	0,6	8,9	1,4	1,12	0,14
Cendres brutes	6,0	0,9	6,2	0,6	6,7	0,5	16,2	2,1	2,56	0,78
Sucres totaux	9,2	/	5,2	0,8	5,7	0,7	-	-	0,31-61,5*	-
E.B. (kcal/kg)	4410	160	4100	120	4530	270	4530	270	364	0

M.S. : Matière Sèche

P. : Protéines

M.G. : Matières Grasses

E.B. : Energie Brute

* Le pourcentage (% matière brute) en sucres totaux du haricot dépend du cultivar considéré.

Tableau 1.17 : Composition des ingrédients en acides aminés (AA), exprimée en % de la matière azotée totale (source : Pusztai *et al.*, 1979 ; Sauvant *et al.*, 2002).

AA	Ingrédients				
	FH	TA	TTND	TTD	FP
Lys	6,54	3,3	3,6	3,5	7,5
Thr	4,18	2,7	3,6	3,6	4,1
Met	1,4	1	2,3	2,3	2,7
Cys	0,85	1	1,7	1,7	0,8
Met + Cys	2,25	2	4	4	3,6
Trp	4,18	1,1	1,2	1,2	1
Ile	4,38	3,3	4,1	4,1	4,2
Val	5,00	3,9	4,9	4,9	5
Leu	7,71	6,2	6,1	6,2	7,2
Phe	5,56	4,7	4,4	4,4	3,9
Tyr	3,46	3,7	2,3	2,2	3
Phe + Tyr	9,02	8,4	6,7	6,6	6,9
His	2,87	2,3	2,4	2,4	2,4
Arg	7,18	11,5	8,1	8,2	5,9
Ala	3,98	4	4,4	4,4	6,3
Asp	12,28	11,4	8,8	8,9	9,2
Glu	15,13	18,8	19	19,6	12,6
Gly	3,75	5,6	5,7	5,7	6,6
Ser	5,65	4,7	4,3	4,3	3,9
Pro	3,81	3	4,4	4,4	4,1

FH : farine de haricot ; TA : tourteau d'arachide ; TTND : tourteau de tournesol non décortiqué ; TTD : tourteau de tournesol décortiqué ; FP : farine de poissons.

Tableau 1.18. Destruction des toxines et des inhibiteurs par traitement (sources : Dy Penafiorida, 1992 ; Francis *et al.*, 2001 ; Pillay, 1990).

Ingrédients	Facteurs anti-nutritionnels	Processus de désactivation
Farine de graines de coton	acide phytique, phyto-oestrogènes, gossypol, anti-vitamines, acide cyclopropenoïque	Ajouter des sels de fer
Farine de soja	inhibiteurs de protéase (facteur antitrypsique), lectines, acide phytique, saponins, anti-vitamines A, E, D et B12	Traitement thermique; autoclavage
Farine de graines de lin	Substance cristalline soluble dans l'eau, thiaminase, anti-pyridoxine	Traitements aqueux et thermique
Poissons crus et mollusques	Thiaminase	Traitement thermique
Farine de luzerne	Saponines	Limiter son taux d'inclusion
Seigle	5-N-alkyl resorcinol	Limiter son taux d'inclusion
Trèfle sucré	Dicoumarol	-
Germes de froment	Non identifié	Traitement thermique
Graines de colza	Isothiocyanate ; substances thyroactives	-
Feuilles de <i>Leucaena leucocephala</i>	mimosine	Feuilles trempées dans l'eau durant 30-48 heures avec un changement d'eau après 24 heures
Son de riz	Thiaminase	Traitement thermique

Tableau 1.19. Ingrédients et formulation des cinq régimes expérimentaux (R = régimes, valeurs exprimées en g.kg⁻¹ de matière première). R1 = aliment commercial Coppens International (source : Nyina-wamwiza, 2003).

Ingrédients	R2 Contrôle	R3 Tournesol	R4 Arachide	R5 Soja	R6 Haricot
Farine de poisson	500	260	250	260	260
Sang d'abattoir	70	90	80	90	100
Viscères de poulet	0	100	100	100	180
Tourteau de tournesol	0	440	0	0	0
Tourteau d'arachide	0	0	260	0	0
Tourteau de soja	0	0	0	400	0
Farine de haricot	0	0	0	0	340
Farine de maïs	200	0	200	0	0
Huile de poisson	60	25	25	25	30
Huile de tournesol	60	25	25	25	30
Cellulose	30	0	0	40	0
Prémix minéraux	30	30	30	30	30
Prémix vitaminé	30	30	30	30	30
Carboxyméthylcellulose	20	0	0	0	0
PB (%)	39,7	39,3	39,8	39,4	38,7
EB (MJ.kg⁻¹)	18,8	19,1	18,7	19,6	18,9